



Návrh a realizace zařízení pro odsávání částic skelných mikrovláken při řezání filtračního složence

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Josef Rydlo**
Vedoucí práce: Ing. Jiří Šafka, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef Rydlo**

Osobní číslo: **S15000165**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Název tématu: **Návrh a realizace zařízení pro odsávání částic skelných mikrovláken při řezání filtračního složení**

Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


Cílem práce je provést rešerši stávajícího řešení odsávání u stroje pro řezání filtračního složení a navrhnout nové zařízení, které umožní zvýšení efektivity odtahu a povede ke snížení koncentrace částic skelných mikrovláken na pracovišti z důvodu jejich zdravotní závadnosti. Hlavní důraz bude kladen na konstrukční řešení a to z hlediska ekonomičnosti a variability (demontáž či přestavba, snadná výměna filtru).

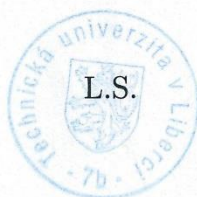
1. Provést rešerši stávajícího řešení.
2. Navrhnout novou konstrukci zakrytování a po schválení konstrukci realizovat.
3. Provést měření množství částic v okolí pracoviště a efektivity navržené konstrukce.
4. Zhodnotit vhodnost navrhovaného řešení.

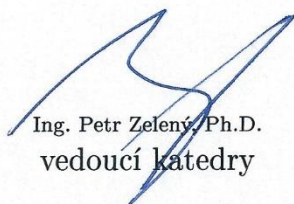
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran textu včetně příloh**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec. Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
- [2] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec. Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
- [3] MAŠÍN I. a P. JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
- [4] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [5] MAŠÍN I. a L. ŠEVČÍK. Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku. Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4
- [6] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Šafka, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Jankele**
Clean-air s.r.o.
Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2019**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych zde poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Šafkovi, Ph.D. za jeho ochotu a konzultace. Dále poděkování patří všem lidem ve společnosti CleanAir za poskytnutí veškerých pomůcek a měřících přístrojů. Hlavně děkuji lidem na dílně, kteří ochotně trpěli omezování různými druhy měření. Také děkuji mé rodině za plnou podporu při studiích.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá úpravou konstrukce odsávací jednotky jednoúčelového stroje pro skládání a řezání filtračního papíru ve společnosti CleanAir. Firma se zabývá výrobou filtračně-ventilačních systémů pro osobní ochranu uživatelů. Úprava jednoúčelového stroje spočívá v navržení nového a účinnějšího odsávání v části stroje - dělení filtrů. Důraz je kladen na praktickou část konstrukce, jako je její ekonomičnost, možnost úprav a případných přestaveb do budoucna (modularita), jednoduchá obsluha a také rychlá výměna vlastního filtru. Kromě samotného odsávání se také práce zabývá návrhem zakrytí stroje tak, aby bylo co nejvíce zamezeno šíření nebezpečných mikročástic z děleného filtračního papíru do okolního prostředí. V práci je popsáno měření koncentrace škodlivých látek pro porovnání s původním stavem a toto měření bylo prakticky provedeno. V závěru práce jsou uvedeny hodnoty z měření tlakové ztráty filtru a rychlosti odsávání částic, která jsou porovnávána s výpočtem provedeným při vlastním návrhu konstrukce.

Klíčová slova:

Odsávání, skelná mikrovlákná, filtr

Abstract

This bachelor thesis deals with design (modification) of an aspiration unit of a single-purpose machine for folding and cutting of filtration paper in the CleanAir company. The company is engaged in production of filtration and ventilation systems for personal protection of their users. The modification of the single-purpose machine lies in designing of a new and more efficient aspiration in the part of the machine, where filter cutting takes place. Emphasis is placed in the practical part of the design, such as its economic feasibility, possibility of being modified or rebuilt in the future (modularity), simple operation and fast replacement of the filter itself. Besides of the aspiration the thesis deals also with designing of machine cowling, in order to maximally reduce spreading of dangerous microparticles from the cut filtration paper into the surrounding environment. The thesis describes measuring of concentration of harmful agents with comparison with the original state; such measuring has been carried out in practice. In the conclusions of the work there are shown values of measuring of pressure loss at the filter and rate of aspiration of particles, which are compared with calculations carried out at the design stage of the construction.

Key words:

Aspiration, glass microfibres, filter

Obsah

1	Úvod.....	11
1.1	Popis stroje.....	11
1.2	Výchozí stav.....	12
1.3	Nebezpečnost skelných mikrovláken.....	14
2	Návrh konstrukce odsávání.....	16
2.1	Výpočet.....	16
2.1.1	Průtok odsávaného vzduchu.....	16
2.1.2	Návrh potrubí.....	18
2.1.3	Tlaková ztráta na filtru a v jeho filtračním boxu.....	24
2.1.4	Volba ventilátoru.....	26
2.2	Konstrukce.....	28
2.2.1	Filtr a jeho box.....	28
2.2.2	Volba odbočky pro odsávací potrubí.....	30
2.2.3	Návrh zakrytování.....	31
2.2.4	Návrh připojení potrubí na odsávací místa.....	32
3	Realizace.....	33
3.1	Výroba filtru.....	33
3.2	Potrubí.....	35
3.2.1	Přechodová odbočka pro odsávací potrubí.....	35
3.3	Zakrytování.....	36
3.4	Instalace odsávání.....	37
4	Měření.....	38
4.1	Měřicí přístroje.....	38
4.1.1	Čítač částic.....	38
4.1.2	Anemometr.....	38
4.1.3	Tlakoměr.....	38
4.2	Měření výskytu částic v okolí stroje.....	38
4.2.1	Měření pozadí na hale.....	43
4.2.2	Měření bez odsávání.....	46
4.2.3	Měření s navrhnutým odsáváním.....	47
4.3	Měření účinnosti filtru.....	51

4.4	Měření tlakových poměrů a rychlostí v odsávání	53
4.4.1	Počáteční tlaková ztráta na filtru	53
4.4.2	Rychlosti na vstupech do potrubí	53
5	Závěr	55
	Citovaná literatura.....	57
	Přílohy	60
A	Výkresová dokumentace	60
B	Hodnoty měření výskytu částic	62
C	Fotografie instalovaného odsávání a krytů.....	62

Seznam obrázků

Obrázek 1: Fotografie stroje	11
Obrázek 2: Schéma stroje	12
Obrázek 3: Odsávání pro věření konstrukčního principu – umístění ventilátoru	13
Obrázek 4: Odsávání pro ověření konstrukčního principu – vlastní propojení se strojem	13
Obrázek 5: Obsluha stroje	15
Obrázek 6: Schéma návrhu potrubí	20
Obrázek 7: Diagram měrné tlakové ztráty hadice GREYFLEX [14]	22
Obrázek 8: Diagram závislosti součinitele odporu klapky na jejím otevření – přeloženo z [16]	24
Obrázek 9: Charakteristika ventilátorů WK [22]	27
Obrázek 10: Tlakové poměry v potrubí	28
Obrázek 11: Umístění filtračního boxu	29
Obrázek 12: Schématický řez filtračním boxem	30
Obrázek 13: Proudění ve správně vytvořené přechodové odbočce [27]	31
Obrázek 14: Proudění ve špatně vytvořené přechodové odbočce [27]	31
Obrázek 15: Schéma připojení odsávacího potrubí ke krytům stroje	32
Obrázek 16: „Vanička“ pro vytvoření těsnícího okraje filtru	33
Obrázek 17: Vytváření těsnící linie na složencích filtru	33
Obrázek 18: Rámeček pro filtr	34
Obrázek 19: Hotový filtr	35
Obrázek 20: Přechodová odbočka s nanýtovanou přírubou	35
Obrázek 21: Původní umístění elektrozařízení	36
Obrázek 22: Nové umístění elektrozařízení	36
Obrázek 23: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců	37
Obrázek 24: Instalované odsávání – detail na připojení potrubí ke stroji	37
Obrázek 25: Rozmístění měřících míst	39
Obrázek 26: Rychlosti odsávání – skluz	54
Obrázek 27: Rychlosti odsávání – řezací hlavy	54
Obrázek 28: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců - zleva	62
Obrázek 29: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců - kolmo	62
Obrázek 30: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců - zprava	63

Seznam grafů

Graf 1: Relativní zvýšení výskytu částic po spuštění stroje.....	42
Graf 2: Dlouhodobé měření výskytu částic 4. 5. 2018.....	45
Graf 3: Dlouhodobé měření výskytu částic 14. 5. 2018.....	45
Graf 4: Dlouhodobé měření výskytu částic 17. 5. 2018.....	46
Graf 5: Dlouhodobé měření výskytu částic 14. 5. 2018.....	47
Graf 6: Měření účinnosti odsávání.....	48
Graf 7: Měření účinnosti odsávání – střední hodnoty výskytu částic	49
Graf 8: Účinnost filtru podle velikosti částic	52

Seznam tabulek

Tabulka 1: Odsávací rychlostí w pro technologické operace [11].....	17
Tabulka 2: Doporučené rychlosti proudění vzduchu [m/s] při nuceném větrání [12].....	18
Tabulka 3: Doporučené dopravní rychlosti pro odsávání prachu nebo při dopravě materiálu [12]	19
Tabulka 4: Určení odsávané velikosti sklených mikrovláken	39
Tabulka 5: Množství částic bez spuštění řezačky, místo A	43
Tabulka 6: Množství částic bez spuštění řezačky, místo B.....	44
Tabulka 7: Množství částic bez spuštění řezačky, místo C.....	44
Tabulka 8: Průměrné hodnoty množství částic.....	50
Tabulka 9: Měření účinnosti filtru – množství částic	51
Tabulka 10: Měření účinnosti filtru – hmotnost částic	52
Tabulka 11: Měření počáteční tlakové ztráty filtru	53

Seznam zkratk

DN	diameter nominal – jmenovitý průměr
DTDL	dřevotřísková deska, laminátovaná
EC	european commission – evropská komise (používáno pro označení nařízení evropského parlamentu)
EN	evropská norma
ES	evropská směrnice – české označení pro zkratku EC
PBT	perzistentní, biokumulativní a toxické – perzistentní = trvalý,
biokumulace = proces kdy se v organismu hromadí chemická látka, toxické = jedovaté	
PEL	přípustný expoziční limit
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol
PM	particulate matter – částice hmoty
PVC	polyvinylchlorid
PVC-U	polyvinylchlorid, neměkčený
TAG	Teltower Apparate und Gerätebau – přístroje a zařízení Teltow (německá firma TAG GmbH)
UV	ultra violet – ultrafialové záření
vPvB	vysoce perzistentní a vysoce biokumulativní

Seznam jednotek

m	metr	délka
mm	milimetr	délka
μm	mikrometr	délka
Pa	pascal	tlak
hPa	hektopascal	tlak
kg/m^3	kilogram na metr krychlový	hmotnostní koncentrace, hustota
mg/m^3	miligram na metr krychlový	hmotnostní koncentrace
$\mu\text{m}/\text{m}^3$	mikrogram na metr krychlový	hmotností koncentrace
$\text{vlákno}/\text{cm}^3$	vláken na centimetr krychlový	početní koncentrace
$\text{vlákno}/\text{l}$	vláken na litr	početní koncentrace
ks/l	kusů na litr	početní koncentrace
(v této BP $\text{ks}/\text{l} = \text{vlákno}/\text{l}$)		
m/s	metr za sekundu	rychlost
m^3/s	metr krychlový za sekundu	objemový průtok
m^3/h	metr krychlový za hodinu	objemový průtok

1 Úvod

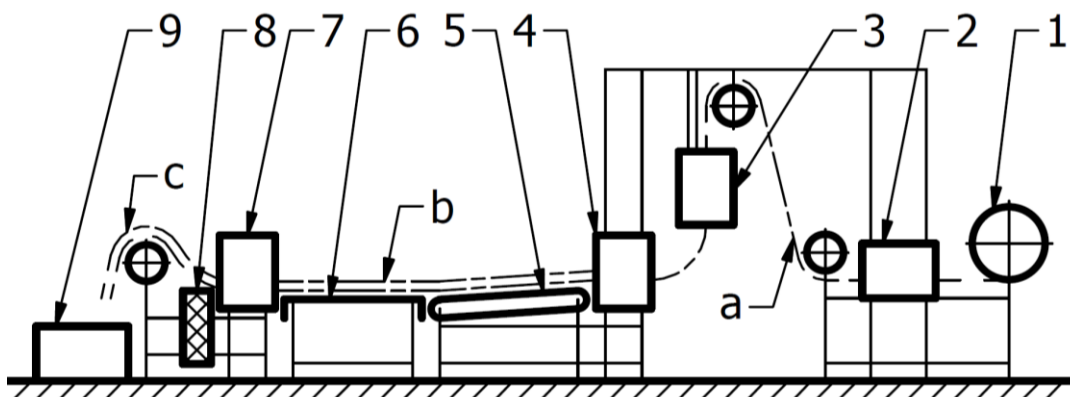
Firma CleanAir se věnuje výrobě filtračních systémů pro osobní ochranu uživatelů [1]. K výrobě vlastních filtrů potřebují řešit i vlastní dělení filtračního papíru do potřebných individuálních rozměrů. Z toho důvodu disponují strojem pro skládání, ale i řezání filtračního papíru. Jednoúčelový stroj je umístěn uprostřed výrobní haly, a to z důvodu jeho velikosti a nutnosti dostupnosti k jednotlivým komponentům stroje. Není tedy možné ho z důvodu prostorového uspořádání plně oddělit od okolního prostředí. Cílem této práce je snížit výskyt částic ze stroje tak, aby pracovníci na hale nemuseli být vybaveni ochrannými pomůckami. Nepředpokládá se, že výskyt částic v blízkosti stroje bude snížen natolik, aby i obsluha mohla být bez ochranných pomůcek.

1.1 Popis stroje

Stroj pro skládání a dělení filtračního papíru obsahuje dvě samostatné části. První část **Obrázek 2**, pozice 1 až 5 je zařízení pro skládání filtračního papíru dodané firmou TAG GmbH. Druhá část od pozice 6 až 8 je zařízení pro řezání naskládaného filtračního papíru. Aktuálně pro vyřezávání kruhových filtrů, v plánu je umístění i nože pro příčné řezání, a tím možnost výroby čtvercových dílů. Tato řezací část je vlastní konstrukce pracovníků firmy CleanAir, vytvořená z profilů hliníkového stavebnicového systému.



Obrázek 1: Fotografie stroje



Obrázek 2: Schéma stroje

1. Role s materiálem (filtračním papírem)
2. Rýhování papíru (tvoření vrubů v místě ohybu)
3. Nanášení lepidla a podélné řezání
4. Skládání papíru
5. Dopravník pro zajištění konstantní rychlosti složence
6. Stůl tvořící rezervu pro zastavení složence v řezačce
7. Řezačka
8. Skluz pro vyřezané složence
9. Krabice pro odpadní papír

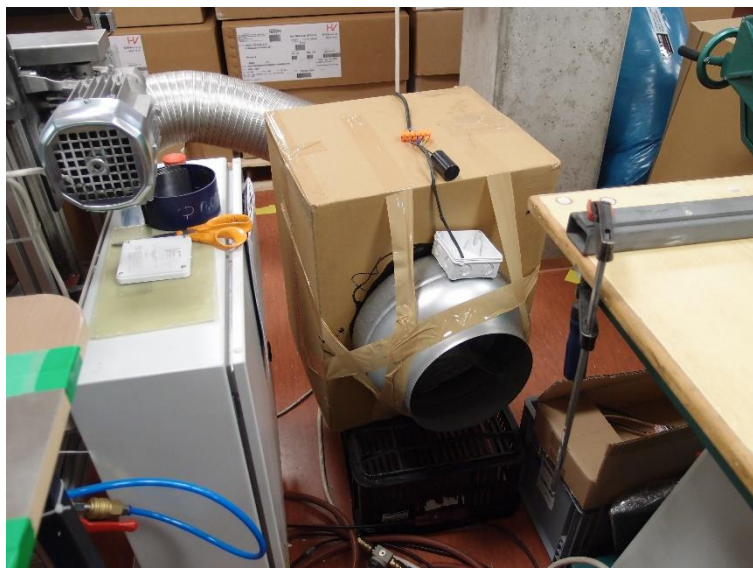
- a. Narýhovaný papír
- b. Naskládáný papír
- c. Papír po vyřezání – odpad

Filtrační papír odvíjející se z role (poz. 1) prochází skrz rýhovací válce (poz. 2), které na filtračním papíru vytvoří vruby v místech ohybu (podle nastavené výšky skladu). Následně jsou na papír nanášeny v podélném směru pruhy tavného lepidla (poz. 3). V tomto místě lze i navolit dělení papíru v podélném směru. Následuje naskládání papíru ve skládacím mechanismu (poz. 4), ze kterého je naskládáný filtrační papír odebrán konstantní rychlostí pomocí dopravníku (poz. 5). Papír je přes stůl (poz. 6) dopravníkem tlačěn do řezačky (poz. 7). Stůl umožňuje zastavit filtrační papír pod řezacími hlavami, aniž by bylo nutné zastavit dopravník (materiál se na stole „napruží“). Vyřezané složence putují se základním materiálem dál, než složence dojedou nad skluz, kde propadnou. Zbýlý materiál (odpad) pokračuje dál do krabice na odpad (poz. 9).

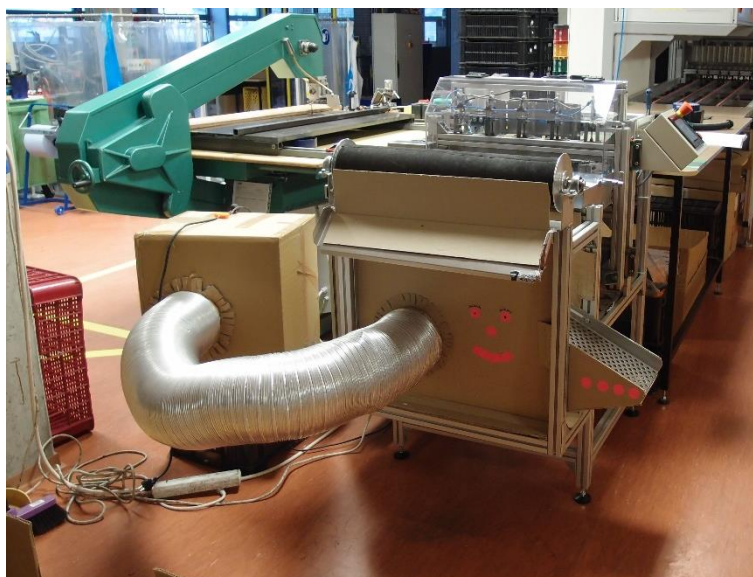
1.2 Výchozí stav

Ve firmě Clean Air bylo externí společností provedeno měření výskytu částic vznikající ve stroji pro skládání a dělení filtrů. Toto měření splnilo hygienické limity. Pracovníci si i přesto stěžovali na zhoršené pracovní prostředí, a proto se firma Clean Air rozhodla o osazení stroje odsáváním. Stroj byl osazen odsáváním a kryty pro ověření konstrukčního principu. Základní odsávací otvor je umístěn pod skluzem nařezaných složenců. Tato konstrukce pro ověření je realizována pomocí

papírového kartonu. Vlastní vstup ověřovacího odsávání je umístěn poměrně daleko od řezacích hlav. Je zde předpoklad, že tyto řezací hlavy vytváří největší víření a šíření mikrovláken. Filtrační část ověřovacího odsávání je zhotovena z kartonové papírové krabice, do které je umístěn (vlepen) filtr vlastní konstrukce firmy Clean Air. Z jedné strany této papírové krabice je vstup a druhá strana je osazena ventilátorem. Odsávací místo a vstup do krabice je propojeno hadicí.



Obrázek 3: Odsávání pro věření konstrukčního principu – umístění ventilátoru



Obrázek 4: Odsávání pro ověření konstrukčního principu – vlastní propojení se strojem

Filtry vlastní konstrukce jsou a budou dodávány přímo firmou CleanAir. Důvodem je samostatnost výroby i takto velkých filtrů. Vyrobené filtry mají maximální rozměry, které lze na stroji vyrobit. Aktuálně vyrobené filtry mají šířku 600 mm, výšku 440 mm a tloušťku 100 mm. Proto navrhované odsávání bude konstruováno pro tyto rozměry filtrů.

Při provozu zařízení obsluhující pracovníci zjistili několik nedostatků. Hlavním nedostatkem ověřovacího odsávání a zakrytování bylo jeho umístění filtrační části vedle stroje, takže potrubí

mezi strojem a filtrem bylo nevhodně umístěno. Toto umístění bokem bylo z toho důvodu, že do čela stroje se umísťuje krabice na odpadní filtrační papír. Filtr ověřovacího odsávání svou pozicí omezoval přístup k zásuvkám elektrické energie a k potřebám pro úklid. Z toho důvodu bylo s kartonovou krabicí filtru často manipulováno a hadice od stroje odpojována. Dalším zjištěným nedostatkem byla zhoršená možnost úklidu stroje. Ověřovací zakrytování bylo ke stroji uchyceno napevno (tavným lepidlem) a znemožňovalo úklid (vysávání) v prostoru pod skluzem. Pracovníci byli nuceni vždy část kartonu odloupnout, dostat se do prostoru pod skluzem pomocí vysavače a poté karton opět vrátit zpět. V kapitole 2.2 Konstrukce na str. 28 je řešen návrh nového odsávání tak, aby byly tyto výše zmíněné nedostatky odstraněny. Toto ověřovací odsávání zároveň mělo překlenout dobu, než bude navrženo a realizováno plnohodnotné odsávání.

1.3 Nebezpečnost skelných mikrovláken

Filtrační papír, který je vstupní surovinou pro výrobu filtrů, dodává firma Hollingsworth and Vose. Filtrační papír je dodáván jako role a skládá se z umělých sklených (křemičitých) vláken s náhodnou orientací. V bezpečnostním listu je uvedena informace o možnosti vzniku nebezpečných částic při dalším zpracování filtračního papíru (mechanické dělení, broušení). V dodávaném balení nepředstavuje filtrační papír nebezpečí pro dýchací soustavu, styk s pokožkou ani styk s vodou [2]. Podle nařízení EC č. 1272/2008 (nařízení o klasifikaci, označování a balení látek a směsí) je označen nebezpečím H351 – Podezření na vyvolání rakoviny [3]. Materiálovým listem filtračního papíru je dále nařízeno používání ochranných rukavic při manipulaci, speciálně se poté věnuje řezání, broušení – operacím, kdy dochází k rozbíjení struktury filtračního papíru. V takovýchto případech materiálový list označuje filtrační papír jako látku PBT a vPvB podle nařízení EC č. 1907/2006 (nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek [4]). Omezující limit výskytu částic pro vdechnutí na pracovišti pro Českou republiku podle vládního nařízení 361 bezpečnostní list stanovuje na 1 vlákno/cm³ [2]. Tento limit se ve vládním nařízení označuje jako PEL. Vládní nařízení 361/2007 Sb. zároveň stanovuje, že musí být splněn i limit hmotnostní koncentrace prachu 4 mg/m³ [5]. Bezpečnostní list nařizuje v případě řezání a broušení zajistit dobré větrání objektu a je-li to potřeba, zajistit odsávání místa vzniku částic. Pokud není odsávání dostatečné, je nutné používat ochranu dýchacích cest [2]. Jaké ochranné pomůcky běžně obsluha stroje používá, zobrazuje následující obrázek:



Obrázek 5: Obsluha stroje

Samotná velikost skelných mikrovláken není v materiálovém listu filtračního papíru udávána a ani ji nelze obecně určit. Je to z důvodu, že skelná mikrovlákná mohou mít široký rozptyl velikostí, podle jejich použití. Pro filtrační papíry se běžně vyrábějí vlákna od $0,1\text{ }\mu\text{m}$ do $100\text{ }\mu\text{m}$. Například střední velikost vlákna pro filtr třídy F7 je $1\text{ }\mu\text{m}$ [6]. Proto rozsah velikosti vláken bude určen měřením.

Obecně jsou nejnebezpečnější vlákna s malým průměrem – přibližně pod $3\text{ }\mu\text{m}$. Tyto vlákna se dostávají do plic, kde se usazují. Největší ukládání dochází u vláken s velikostí od $0,5\text{ }\mu\text{m}$ do $1\text{ }\mu\text{m}$ [7].

2 Návrh konstrukce odsávání

Hlavním předpokládaným zdrojem vzniku uvolněných částic je poslední oddíl stroje, kde dochází k dělení složenců (vykrajování „koleček“). Odsávání je navrženo ze dvou míst, z místa co nejbližší vyřezávacím hlavám a z místa, kde je prozatímne provedeno – z prostoru pod skluzem.

Podle obecných definic větrání lze rozdělit podle velkého množství kritérií. Tato bakalářská práce se zabývá nuceným větráním, konkrétněji podle účelu větraných prostor se jedná o technologické nucené větrání. Technologické nucené větrání slouží k odvodu škodlivých látek, které vznikají v technologickém zařízení. Podle tlakových poměrů lze nucené větrání rozdělit na přetlakové nebo podtlakové. Přetlakové větrání neumožňuje, aby se vlivem netěsností nedostával okolní vzduch do vnitřních prostor. Podtlakové větrání naopak zamezuje úniku vzduchu z vnitřních prostor do okolí [8]. Z tohoto důvodu je voleno podtlakové odsávání tak, aby nežádoucí částice neunikaly do okolí.

2.1 Výpočet

2.1.1 Průtok odsávaného vzduchu

Množství vzduchu, které je třeba odsávat, je výchozím parametrem pro návrh celého odsávacího zařízení. V případě odsávání škodlivých látek se odsávací průtok vzduchu určuje vztahem [9]:

$$\dot{V} = \frac{\dot{M}_s}{C_o - C_p} \quad (1)$$

Kde: \dot{V} je odsávací objemový tok [$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$], \dot{M}_s je hmotnostní tok vzniku (úniku) škodlivých látek [$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$], C_o je koncentrace škodlivých látek v odsávaném vzduchu [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$], C_p je koncentrace škodlivých látek v přiváděném vzduchu [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$] (většinou $C_p = 0$).

Tento výpočet (1) nelze použít, protože hmotnostní tok škodlivých látek je neznámý a nejsou k dispozici prostředky, jak jej přesně změřit. V rámci této práce je použit k určení odsávacího průtoku zjednodušený výpočet. Odsávaný objem je určen pomocí geometrie odsávaného místa a z požadované rychlosti pro unášení částic. Vychází se z teorie, že ze sacího nástavce vychází ekvipotenciální proudění a tyto ekvipotenciální plochy, na kterých je stejná rychlost, jsou kulové. Rychlost proudu odsávacího vzduchu v radiálním směru od sacího nástavce se teoreticky spočítá podle vztahu [10]:

$$w_r = \frac{\dot{V}}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Kde: w_r je rychlost proudu v radiálním směru [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$], \dot{V} je odsávací objemový tok [$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$], r je vzdálenost místa od sacího nástavce [m].

Bakalářská práce od M. Bilíka, Lokální větrání [10], popisuje odsávání částic z volného prostoru. Zdejší případ se spíše než volný prostor dá popsat jako odsávání uvnitř potrubí, a proto jeho popisovaný vztah je možné zjednodušit:

$$w_r = \frac{\dot{V}}{A} \quad (3)$$

Kde: w_r je rychlost proudu v radiálním směru [$\frac{m}{s}$], \dot{V} je odsávací objemový tok [$\frac{m^3}{s}$], A je průřez, kterým proud prochází v počítaném místě [m^2].

Pro výpočet odsávacího objemového toku z rovnice (3) je potřeba určit rychlost proudu pro unášení částic. Rychlost je volena z tabulky, která udává příklady potřebných rychlostí pro dané technologické operace:

Tabulka 1: Odsávací rychlosti w pro technologické operace [11]

Technologie	w [m/s]	Místo, k němuž se rychlost vztahuje
Digestoře <ul style="list-style-type: none"> • Nejedovaté plyny • Běžné práce v průmyslových laboratořích • Jedovaté a agresivní látky 	0,3 0,4 až 0,5 0,6 až 0,75	V nasávacím otvoru, při výšce otevření okna 0,5 m
Korečkové elevátory	1,0	Otvor v zákrytu
Přesypy dopravních pásů	0,75 až 1,0	Otvor v zákrytu
Opracování kamene <ul style="list-style-type: none"> • Ruční nástroje • Strojní opracování 	1,0 7,5	U zdroje U zdroje
Kyvadlové brusky, kabinové odsávání	1,0 až 1,2	Vstupní průřez kabiny
Vytřásání odlitků <ul style="list-style-type: none"> • Boční odsávání <ul style="list-style-type: none"> ○ Chladný písek ○ Horký písek • Spodní odsávání 	0,3 až 0,4 0,4 až 0,5 1,25 až 2,0	U zdroje U zdroje Vztaženo na plochu roštu
Zásobníky	0,75 až 1,0	Volný otvor
Tryskací komory	2,5	Otvor v komoře
Pájení	0,4 až 0,5	U zdroje
Svařování elektrickým obloukem	0,5 až 1,0	U zdroje
Stříkání barev	0,5 až 1,0	Vstupní průřez kabiny
Stříkání kovů <ul style="list-style-type: none"> • Inertních • Toxických 	0,5 až 0,75 1,0	U zdroje U zdroje

V uvedené tabulce není zmíněn přímo řešený případ. Protože se jedná o drobné lehké částice, které není těžké unášet, jsou voleny hodnoty z kategorie digestoře. Vzhledem k jejich nebezpečné povaze a složitější geometrii stroje, která bude proud brzdít, je volena hodnota $w = 0,75 \frac{m}{s}$

Plocha, kterou prochází odsávací proud vzduchu, se určí podle rozměrů stroje. U horního odsávacího místa se jedná o šířku pracovního prostoru 600 mm a výšku pracovního prostoru 160 mm, po dosazení do rovnice (3) a vyjádření odsávacího objemového toku dostaneme:

$$\dot{V}_{ods_H} = w \cdot A_{ods_H} = 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,16 = \mathbf{0,072 \frac{m^3}{s}}$$

Stejně je spočítán odsávací objemový tok u dolního odsávacího místa. Zde je plocha, kterou prochází proud, plocha skluzu. Délka skluzu je 1000 mm a šířka skluzu 200 mm.

$$\dot{V}_{ods_D} = w \cdot A_{ods_D} = 0,75 \cdot 1 \cdot 0,2 = \mathbf{0,150 \frac{m^3}{s}}$$

2.1.2 Návrh potrubí

Při návrhu potrubí jako první dojde k odhadu hlavní větve, což je větev, která má největší tlakovou ztrátu a ostatní větve se na ni napojují. Poté se spočítají průřezy, následuje výpočet tlakových ztrát a podle celkové tlakové ztráty se určí dopravní přetlak/podtlak ventilátoru. Je vhodné, aby jednotlivé odbočky měly obdobné tlakové ztráty (stejně délky a průtoky). Průřezy potrubí stanovíme na základě doporučených rychlostí podle účelu větracího zařízení nebo druhu dopravovaného materiálu [12].

Částice o stejné velikosti i hmotnosti se běžně vyskytují v přirozeném vzduchu [13], z toho důvodu je odsávání považováno za zařízení pro nucené větrání, nikoliv za zařízení odsávající prach nebo dopravující materiál. Proto je použita následující tabulka:

Tabulka 2: Doporučené rychlosti proudění vzduchu [m/s] při nuceném větrání [12]

Druh zařízení	Větrání a nízkotlaká klimatizace						Vysokotlaká klimatizace	
Druh budovy	Obytné		Veřejné		Průmyslové			
Doporučená rychlost	Střední	Max	Střední	Max	Střední	Max	Střední	Max
Hlavní větve:								
• Stoupačky	3,5 – 4,5	6	5 – 6,5	8	6 – 9	11	8 – 12,5	15 – 20
• Odbočky, rozvody v podlaží	3	5	3 – 4,5	6,5	4 – 5	9	10	12 – 20
• Za ventilátorem	5	8,5	7,5	11	10	14	12,5	20 – 25
Odvod vzduchu	3,5	4,5	4	5,5	5	9	8,5	17
Vnější žaluzie	2,5	4	2,5	4,5	2,5	6	3	5
Filtry	1	1,5	1,5	2	2	2	2	2
Ohřívače	2,2	2,5	2,5	3	3	4,5	3	4,5
Pračky	2,5 – 3	3,5 – 4	2,5 – 3	3,5 – 4	2,5 – 3	3,5 – 4	2,5 – 3	3,5 – 4

Pro úplnost byla přidána i tabulka pro odsávání prachu a dopravu materiálu:

Tabulka 3: Doporučené dopravní rychlosti pro odsávání prachu nebo při dopravě materiálu [12]

Materiál	Rychlost [m/s]
Suché třísky dřeva	16
Vlhké třísky dřeva	20
Kovový prach od brusek	15 – 20
Slévárenský prach	18 – 23
Bavlna	13 – 15
Vlna	15 – 20
Obilný prach	10 – 15

Pro výpočet průměrů potrubí je volena rychlost z řádku pro odbočky a rozvody v podlaží ve sloupci průmyslové. Jelikož se nejedná o plně čistý vzduch a prohlídkou ověřovacího odsávání bylo zjištěno, že potrubím mohou občas putovat i větší části filtračního papíru, je volena jako optimální rychlost $w_{optimal} = 6 \frac{m}{s}$. Správnost volby optimální rychlosti v potrubí dokládá i měření z ověřovacího odsávání, kde byla naměřena rychlost 5,3 až 6,2 m/s a k žádnému ucpávání nedocházelo. A to ani v případě větších částí filtračního papíru, které se do potrubí dostaly.

Tyto větší části odpadu filtračního papíru, které jsou odpadní odřezky, jsou běžně v délce několika centimetrů a někdy se blíží až k délce jednoho metru. K průniku těchto odpadních zbytků dochází při náhodném odpojení potrubí z kartonového nástavce na stroji. Tento volný konec potrubí začne nasávat odpadní odřezky v krabici pod potrubím. Tento stav by měl být novou konstrukcí odsávání zamezen. Největší kusy, které by měly poté být schopny dostat se do potrubí, jsou dány velikostí otvorů na skluzu. Běžně se v prostoru pod skluzem vyskytují zbytky filtračního papíru o průměru cca 2 cm.

Pro návrh průměru potrubí použijeme rovnici pro objemový průtok [9]:

$$\dot{V} = w \cdot A \quad (4)$$

Za plochu byl dosazen vzorec pro obsah kruhu a vyjádřen průměr, za rychlost byla dosazena zvolená optimální rychlost a za objemový tok dosazen odsávací objemový tok \dot{V}_{ods_H} pro horní potrubí respektive \dot{V}_{ods_D} pro dolní potrubí. Pro horní odsávání vztah vypadá takto:

$$D_{H_návrh} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{ods_H}}{\pi \cdot w_{optimal}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,072}{\pi \cdot 6}} = 0,123 \text{ m}$$

Stejně tak byl i proveden návrh průměru potrubí pro dolní část odsávání:

$$D_{D_návrh} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{ods_D}}{\pi \cdot w_{optimal}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,150}{\pi \cdot 6}} = 0,178 \text{ m}$$

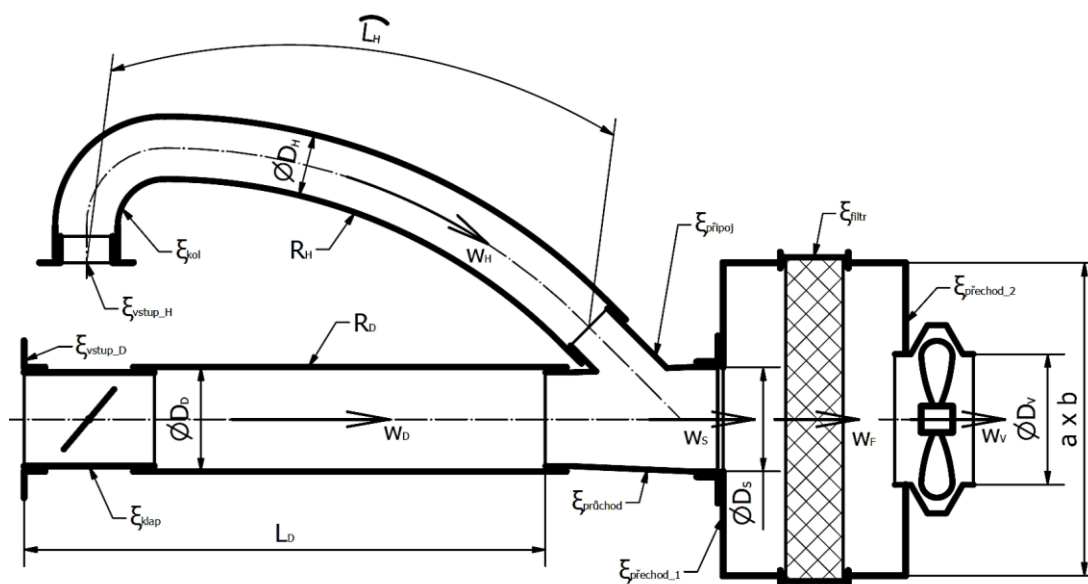
Z výsledků návrhu byl určen průměr potrubí pro horní odsávání $D_H = 0,1 \text{ m}$. Tato hodnota byla volena z konstrukčního důvodu, protože potrubí (hadici) většího průměru než 100 mm není možné umístit kolem aktuálních prvků stroje. Průměr potrubí spodního odsávání je volen $D_D = 0,18 \text{ m}$.

Pro zvolené průměry potrubí pomocí rovnice (4) zpětně byla přepočítána rychlost proudění:

$$w_H = \frac{4 \cdot \dot{V}_{ods_H}}{\pi \cdot D_H^2} = \frac{4 \cdot 0,072}{\pi \cdot 0,1^2} = 9,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_D = \frac{4 \cdot \dot{V}_{ods_D}}{\pi \cdot D_D^2} = \frac{4 \cdot 0,150}{\pi \cdot 0,18^2} = 5,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Po získání těchto výše popsaných údajů byl navrhnut kompletní návrh potrubí – typy prvků a uspořádání. Vzhledem k tomu, že dolní odsávání bude mít vzhledem k nižší rychlosti a většímu průměru výrazně nižší tlakovou ztrátu již od začátku výpočtu, je uvažováno umístění klapky v dolním potrubí pro vyvážení tlakových ztrát.



Obrázek 6: Schéma návrhu potrubí

Po spojení bude objemový tok roven součtu odsávacích objemových toků:

$$\dot{V}_{spoj} = \dot{V}_{ods_H} + \dot{V}_{ods_D} = 0,072 + 0,150 = 0,222 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Pro návrh potrubí je volena metoda přesného výpočtu, z toho důvodu je třeba dopočítat zbylé rychlosti, které dále budou potřeba pro výpočet tlakových ztrát [12]. Pro jejich výpočet se opět použije rovnice (4), kde vyjádříme rychlost a za plochu je dosazen průřez v místě rychlosti (v potrubí kruh, ve filtru obdélník). Rozměry, které zatím nebyly počítány, vychází z návrhu konstrukce.

Průměr výstupu z odbočky je dán jejím výběrem. Bude se jednat o přechodovou odbočku, která má dle katalogu výstupní průměr $D_S = 0,2 \text{ m}$ (viz 2.2.2 Volba odbočky str. 30). Výpočet rychlosti spojených proudů v odbočce:

$$w_S = \frac{4 \cdot \dot{V}_{spoj}}{\pi \cdot D_S^2} = \frac{4 \cdot 0,222}{\pi \cdot 0,2^2} = 7,07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Plocha filtru (z pohledu průřezu potrubí, ne plocha filtračního papíru) byla po vyrobení prvního filtru: šířka 550 mm, výška 400 mm (viz 3.1 Výroba filtru str. 33). Vstupní rychlosti do filtru je:

$$w_F = \frac{\dot{V}_{spoj}}{a \cdot b} = \frac{0,222}{0,55 \cdot 0,4} = 1,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maximální doporučená hodnota pro rychlost prodění v průmyslových aplikacích filtrem 2 m/s je s velkou rezervou dodržena (viz **Tabulka 2**).

Průměr ventilátoru je dán jeho návrhem. Na ověřovacím odsávání je aktuálně použit ventilátor s průměrem $D_V = 0,25 \text{ m}$, předpokládá se, že pokud to bude možné, bude ventilátor použit i ve vytvořeném odsávání. Rychlost proudu ventilátorem:

$$w_V = \frac{4 \cdot \dot{V}_{spoj}}{\pi \cdot D_V^2} = \frac{4 \cdot 0,222}{\pi \cdot 0,25^2} = 4,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

V každé části potrubí určíme tlakovou ztrátu, Na odbočkách musí platit podmínka shodné tlakové ztráty odbočné větve a hlavní větve. Tlakové ztráty potrubí jsou tvořeny ztrátami v tření proudu o potrubí a ztrátami místními, které vznikají vlivem geometrie potrubí. Tlakové ztráty poté určíme takto [12]:

$$\Delta p_z = \Delta p_t + \Delta p_m = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (5)$$

Kde: Δp_z je tlaková ztráta počítaného úseku [Pa], Δp_t je třecí ztráta počítaného úseku [Pa], Δp_m je součet místních ztrát v počítaném úseku [Pa], λ je součinitel tření [-], l je délka potrubního úseku [m], d je ekvivalentní průměr potrubí (pro kruhový průřez odpovídá průměru potrubí) [m], ξ je součinitel místního odporu [-], ρ je hustota proudícího média [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$], w je střední rychlost vzduchu [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$].

Třecí tlakové ztráty se často vyjadřují měrnou tlakovou ztrátou, která se spočítá [12]:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (6)$$

Kde R je měrná tlaková ztráta [$\frac{\text{Pa}}{\text{m}}$], ostatní veličiny jsou stejná jako v rovnici (5).

Měrnou tlakovou ztrátu lze najít v diagramech, udávající jí výrobci v katalogových listech potrubí, a proto je pro výpočet tlakové ztráty výhodnější. Pokud do rovnice (5) vložíme rovnici (6) získáme pro výpočet tlakové ztráty vztah:

$$\Delta p_z = R \cdot l + \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \sum \xi \quad (7)$$

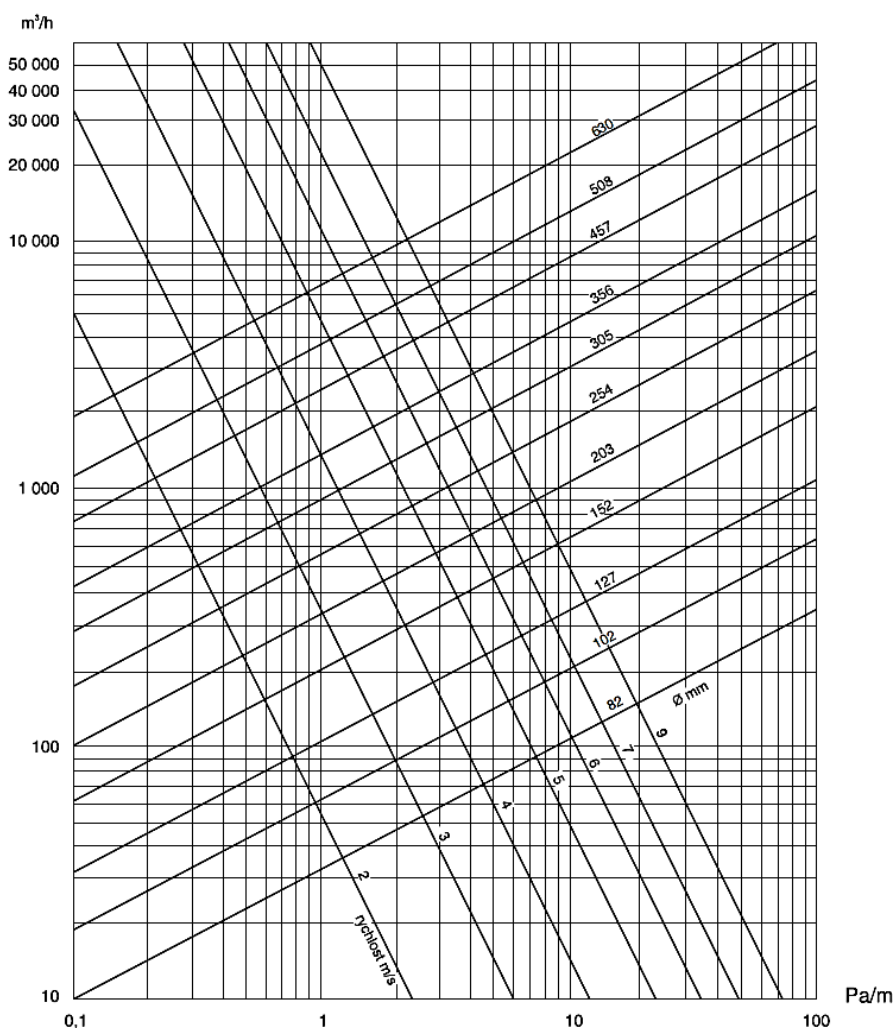
Po rozepsání rovnice (7) pro konkrétní úseky, tak pro horní úsek od horního sání po odbočku bude rovnice vypadat takto:

$$\Delta p_{zH-odb} = R_H \cdot L_H + \frac{\rho}{2} \cdot w_H^2 \cdot (\xi_{vstup_H} + \xi_{kol} + \xi_{připoj}) \quad (8)$$

Rovnice pro dolní úsek od dolního sání po odbočku bude popsána takto:

$$\Delta p_{zD-odb} = R_D \cdot L_D + \frac{\rho}{2} \cdot w_D^2 \cdot (\xi_{vstup_D} + \xi_{klap} + \xi_{příchod}) \quad (9)$$

Měrnou tlakovou ztrátu získáme z katalogů dodavatelů potrubí. Jako potrubí byla zvolena PVC hadice vyztužená ocelovou spirálou, ovšem k tomuto typu nebyl nalezen vhodný diagram tlakové ztráty. Pro výpočet tlakových ztrát jsou použity diagramy na následujícím obrázku (**Obrázek 7**) z katalogu firmy ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s r.o.. Tyto diagramy odpovídají hadici vyrobené ze dvou vrstev PVC s polyamidovou tkaninou a zpevněné spirálovitě vinutým drátem. Tato hadice by se měla nejvíce blížit plánované instalované hadici:



Obrázek 7: Diagram měrné tlakové ztráty hadice GREYFLEX [14]

Z diagramu můžeme vyčíst, že pro průměr $D_H = 0,1$ m a rychlost proudu $w_H = 9,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ je měrná tlaková ztráta $R_H = 17 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$. Pro průměr hadice $D_D = 0,18$ m a rychlost proudu $w_D = 5,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ je měrná tlaková ztráta $R_D = 4 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$. Výrobce v katalogu uvádí, že diagram je pouze orientační, platný pro rovnou nataženou hadici a skutečné tlakové ztráty je třeba vždy měřit.

Pro určení součinitele místních odporů existuje poměrně velké množství tabulek a diagramů, které rozlišují různé kritéria provedení tvarovek a poměrně se i hodnotově liší. V této práci bylo rozhodnuto pro použití tabulek z [12] od str. 238:

- Vstupy sání – vtok do otvoru zabudovaného do stěny: $\xi_{vstup_H} = \xi_{vstup_D} = 0,5$
- Koleno v horní větvi – segmentové koleno s kruhovým průřezem, počet segmentů 6, úhel 90° , $R/d = 1$ (vzhledem k spirálovité výztuži hadice volím jako nejpodobnější segmentové koleno s největším možným počtem segmentů dle tabulky): $\xi_{kol} = 0,3$
- Přechodová odbočka – spojka s ostrým ohybem proudu, úhel ohybu 45° , poměr vstupních objemových toků 0,5, poměr vstupních průměrů 0,6: $\xi_{připoj} = 0,58$ a $\xi_{průchod} = -0,16$

Rychlost proudění vzduchu potrubím je výrazně pod rychlostí zvuku je považována hustota vzduchu za konstantní [15] $\rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ [9].

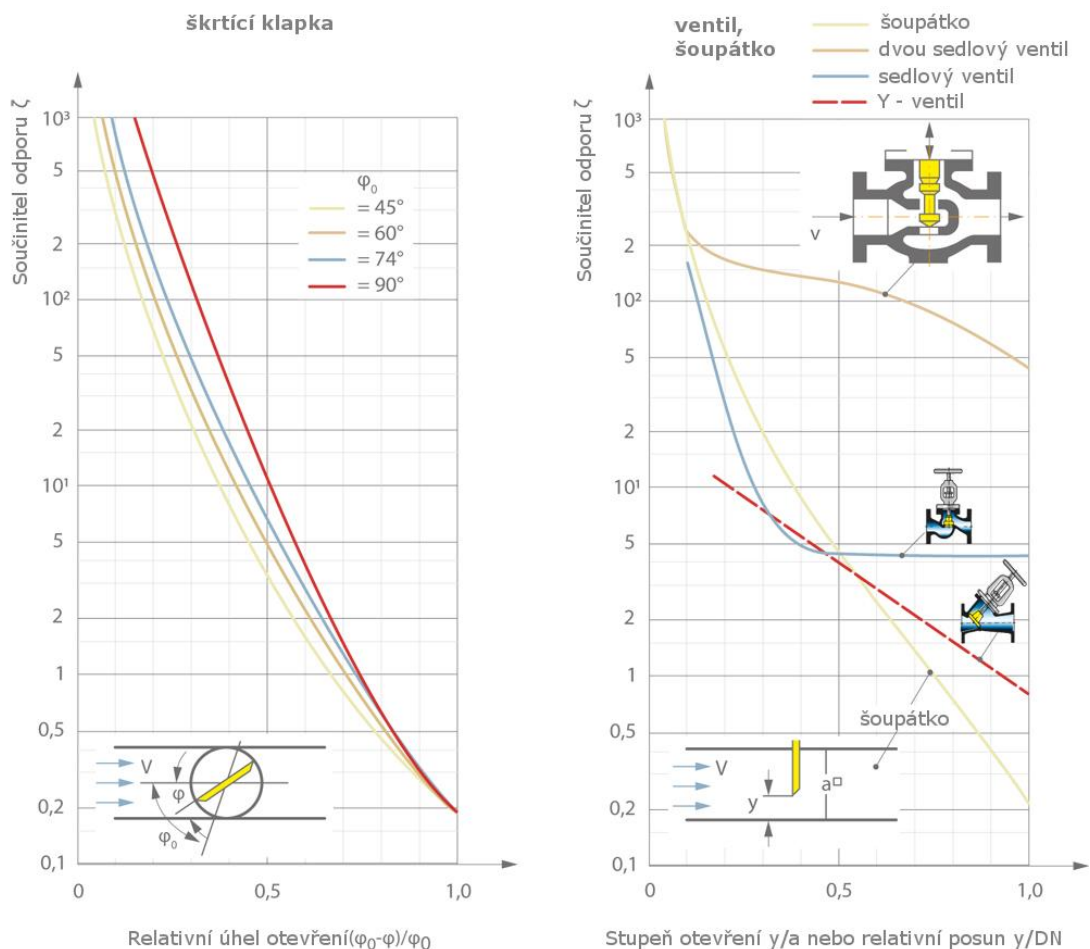
Po získání těchto hodnot bylo dosazeno do rovnice (8) pro úsek mezi horním sáním a připojením v odbočce. Délka hadice mezi vstupem a odbočkou je $L_H = 1,3$ m, pozvolné stočení hadice k odbočce zanedbáme – bude se jednat o zakřivení na malém poloměru. Tlaková ztráta na tomto úseku je:

$$\Delta p_{zH-odb} = 17 \cdot 1,3 + \frac{1,2}{2} \cdot 9,17^2 \cdot (0,5 + 0,3 + 0,58) = 91,68 \text{ Pa}$$

Podle podmínky stejných tlakových ztrát na odbočkách musí platit rovnost rovnic (8) a (9). Jedinou neznámou v rovnici (9) je místní odpor klapky, který je vyjádřen a spočítán. Délka hadice mezi vstupem a odbočkou je $L_D = 1,5$ m (do délky hadice je i započítána klapka, není očekávané moc velké ovlivnění přesnosti výsledku, vzhledem k tomu, že měrná tlaková ztráta odečtená z diagramu je teoretická).

$$\begin{aligned} \xi_{klap} &= \frac{2}{\rho \cdot w_D^2} \cdot (\Delta p_{zH-odb} - R_D \cdot L_D) - \xi_{vstup_D} - \xi_{průchod} \\ &= \frac{2}{1,2 \cdot 5,89^2} \cdot (91,68 - 4 \cdot 1,5) - 0,5 - (-0,16) = 3,8 \end{aligned}$$

Výsledkem je součinitel odporu klapky. Podle následujícího diagramu je určen přibližný úhel nastavení klapky:



Obrázek 8: Diagram závislosti součinitele odporu klapky na jejím otevření – přeloženo z [16]

Při výpočtu úhlu nastavení klapky je předpokládáno, že klapka, která bude použita, bude uzavírat proud odsávaného vzduchu na kolmo ($\varphi_0 = 90^\circ$), poté pro součinitel odporu klapky $\xi_{klap} = 3,8$ odpovídá poměrnému pootočení $\varphi_x = 0,6$. A po přepočtení se jedná o úhel:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot (1 - \varphi_x) = 90 \cdot (1 - 0,6) = 36^\circ$$

2.1.3 Tlaková ztráta na filtru a v jeho filtračním boxu

Tlakové ztráty vlivem geometrie na vstupu/výstupu vzduchu do/z boxu filtru se spočítají stejně jako předchozí místní tlakové ztráty. Odpor na filtru se určí až experimentálně měřením na samotném filtru. Odpor na filtru při laminárním proudění roste lineárně, při proudění turbulentním kvadraticky [12]. Firma CleanAir nemá přípravek pro změření takto velkého filtru a změřit tyto hodnoty bude možné až po realizaci filtračního boxu, z toho důvodu byly využity v rámci návrhu katalogy firem, které vyrábějí tvarově a materiálově podobné filtry. Základním požadavkem na navrhovaný filtr je schopnost nepropustit částice o rozměru kolem $0,5 \mu\text{m}$, filtry s touto schopností se označují podle třídy E (účinné pro částice od $0,01 \mu\text{m}$), toto označení je podle normy EN 1822 [17]. Jako porovnávací výrobek byla zvolena skupina filtrů EPA s třídou odlučivosti E11 a E12 od firmy EKOFILTR spol. s r.o.. Plocha papíru plánovaného filtru je cca $9,7 \text{ m}^2$ a požadovaný objemový průtok $\dot{V}_{spoj} = 0,222 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 799,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, proto tento filtr bude porovnáván s filtrem EPA E11 firmy EKOFILTR spol. s r.o. o ploše papíru $9,9 \text{ m}^2$, který má při průtoku

2000 m³/h počáteční tlakový odpor 130 Pa [18]. Požadovaný objemový průtok vzduchu je oproti porovnávané hodnotě nižší, a proto by měl být i výsledný tlakový odpor navrhovaného filtru nižší. Proto lze pro další výpočet určit počáteční tlakovou ztrátu filtru jako $p_{ZF0} = 130$ Pa. V technických listech je uváděna často počáteční tlaková ztráta při jmenovitém objemovém průtoku a poté doporučená koncová tlaková ztráta. Koncová tlaková ztráta bude určena podle navrhnutého ventilátoru tak, aby nepoklesl odsávací objemový tok pod hodnoty stanovené touto prací.

Protože box filtru je obdélníkového průřezu a výpočty místních tlakových ztrát jsou většinou vztaženy na průřezy kruhové, zavádí se ekvivalentní průměr potrubí [19]:

$$d_{ekv} = \frac{4 \cdot A}{u} \quad (10)$$

Kde: d_{ekv} je ekvivalentní průměr [m], A je průtočná plocha [m²], u je obvod průtočné plochy (v případě kapalin pouze omočený obvod – obvod který je ve styku s proudící tekutinou) [m].

Pro výpočty třecích tlakových ztrát pro odečítání z diagramu měrné tlakové ztráty jsou vztahy ekvivalentního průměru podle rychlosti, který odpovídá vztahu (10) a nebo ekvivalentní průměr podle průtoku, detailnější popis lze najít v [12]. Třecí tlaková ztráta je zde zanedbána, protože box filtru je dlouhý 392 mm a jeho velkou část zabírá samotný filtr. Proud vzduchu se tak na takto krátké vzdálenosti nestihne ani ustálit, proto je tlaková ztráta vlivem geometrie podstatnější a dostatečně vypovídá o celkové tlakové ztrátě.

Po dosazení rozměrů filtru (550 x 400 mm) do rovnice (10) je ekvivalentní průměr bedny filtru:

$$d_{ekv} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} = \frac{4 \cdot 0,55 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,55 + 0,4)} = \mathbf{0,46 \text{ m}}$$

Po získání této hodnoty lze opět pomocí tabulek z [12] určit součinitele místních odporů:

- Vstup do filtračního boxu – náhlé rozšíření průřezu s poměrem průměrů 0,4: $\xi_{přechod_1} = \mathbf{0,36}$
- Výstup z filtračního boxu – náhlé zúžení průřezu s poměrem průměrů 0,5: $\xi_{přechod_2} = \mathbf{0,22}$

Pomocí rovnice (7) je spočítána tlaková ztráta mezi odbočkou a ventilátorem. Jak je zmíněno výše, třecí odpor v tomto úseku je zanedbán: $R=0$. Na pravou stranu této rovnice je ještě přičtena tlaková ztráta na filtru (i to je místní ztráta). Vzhledem k tomu, že se v daném úseku mění rychlost proudění, použije se u daného součinitele místního odporu rychlost, která má v tabulkách shodný index součinitele místního odporu s indexem rychlosti, rozměru (pro ξ_1 rychlost v_1 , pro ξ_2 rychlost v_2 , vždy podle použitých tabulek) [20]. V této bakalářské práci s použitím tabulek z [12] se jedná vždy v daném místě o rychlost vyšší. Vztah pro tlakovou ztrátu mezi odbočkou a ventilátorem je:

$$\Delta p_{zodb-v} = \frac{\rho}{2} \cdot (w_s^2 \cdot \xi_{přechod_1} + w_v^2 \cdot \xi_{přechod_2}) + p_{zF0} \quad (11)$$

Po dosazení hodnot bude tlaková ztráta na tomto úseku:

$$\Delta p_{zodb-v} = \frac{1,2}{2} \cdot (7,07^2 \cdot 0,36 + 4,52^2 \cdot 0,22) + 130 = \mathbf{143,49 \text{ Pa}}$$

2.1.4 Volba ventilátoru

Navržený ventilátor musí být schopen pokrýt svým dopravním tlakem tlakovou ztrátu a zároveň zajistit celkový objemový průtok vzduchu. Celková tlaková ztráta je dána součtem tlakových ztrát hlavní větve [9]. Jedná se tedy o úseky od horního sání k odbočce a od odbočky k ventilátoru:

$$\Delta p_{zcelk} = \Delta p_{zH-odb} + \Delta p_{zodb-v} \quad (12)$$

Po dosazení již spočítaných tlakových ztrát na jednotlivých úsecích je celková tlaková ztráta:

$$\Delta p_{zcelk} = 91,68 + 143,49 = \mathbf{235,17 \text{ Pa}}$$

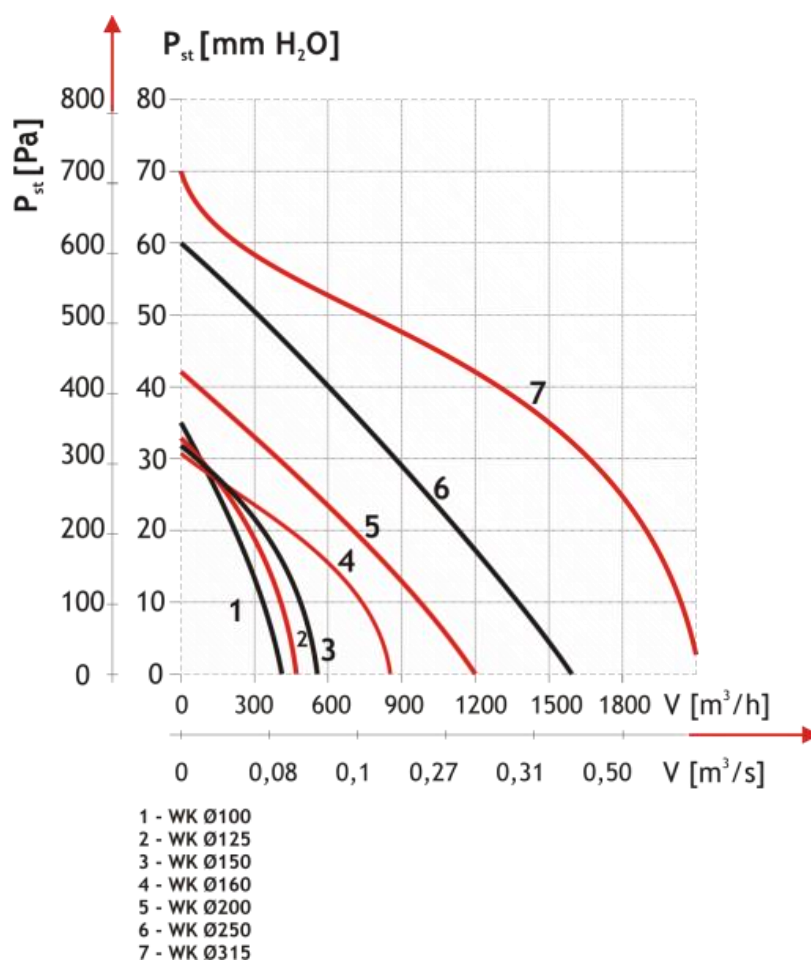
Zde se některé zdroje rozcházejí v [9] na str. 63 je jasně uvedeno, že tlaková ztráta hlavní větve je rovna dopravnímu tlaku ventilátoru ($p_d = \Delta p_{zcelk}$). V [21] je dopravní tlak ventilátoru určen jako součet tlakové ztráty a dynamického tlaku za ventilátorem (kupodivu na obou zdrojích pracoval shodný autor). Podle ukázek obrázků tlakových poměrů (zde v práci pro navrhované odsávání **Obrázek 10**) je sečtení těchto tlaků logičtější a více se blíží skutečnosti, a proto se pro výpočet dopravního tlaku v této práci budu řídit vztahem:

$$\Delta p_d = \Delta p_{zcelk} + \frac{\rho}{2} \cdot w_v^2 \quad (13)$$

Po dosazení hodnot je výsledný dopravní tlak:

$$\Delta p_d = 235,17 + \frac{1,2}{2} \cdot 4,52^2 = \mathbf{147,43 \text{ Pa}}$$

Ventilátor, který byl použit na ověřovacím odsávání má následující charakteristiku (křivka 6: WK Ø250):

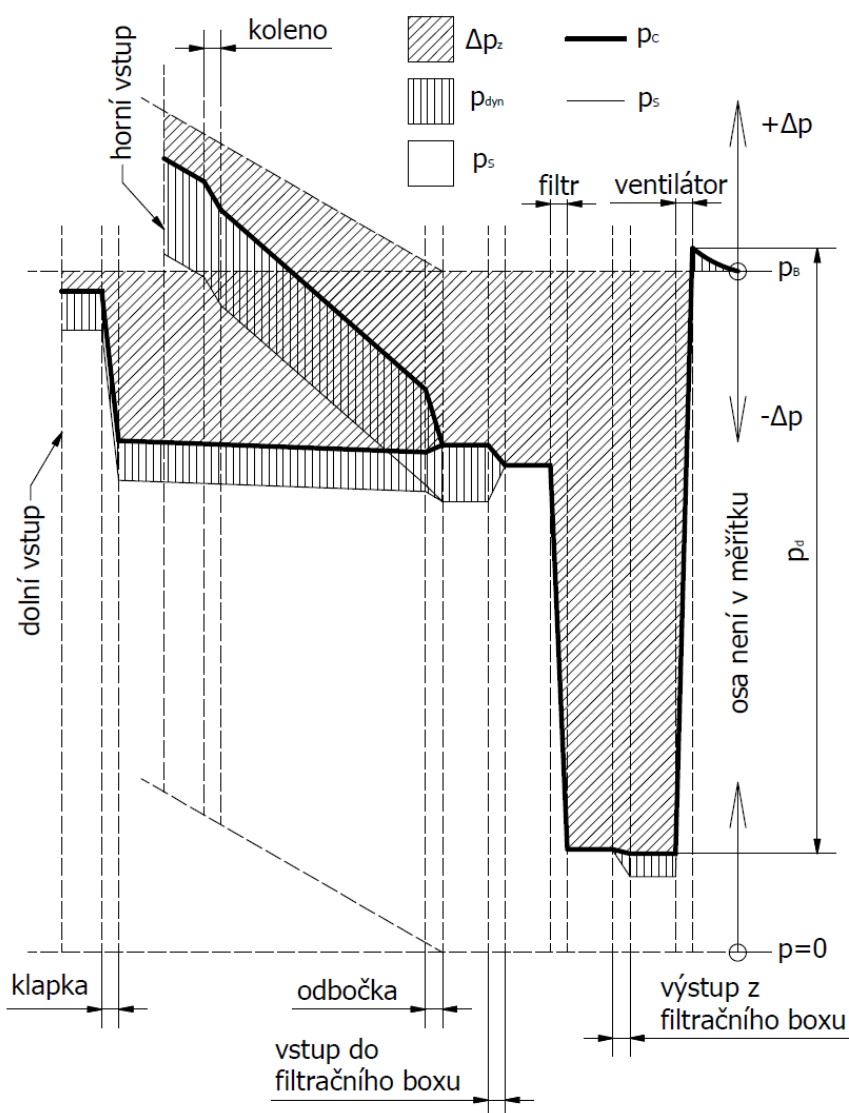


Obrázek 9: Charakteristika ventilátorů WK [22]

Z charakteristiky ventilátoru WK Ø250 vyplývá, že pro objemový průtok $\dot{V}_{spoj} = 799,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ má dopravní tlak (na charakteristice značeno jako statický tlak) $p_d = 320 \text{ Pa}$. Tato hodnota je v porovnání s tlakovou ztrátou potrubí vyšší. Je ovšem nutné si uvědomit, že výpočet celkové tlakové ztráty byl proveden pro nezanešený (čistý) filtr (počítáno s p_{zF0}). Z toho vyplývá, že z počátku bude ventilátorem proudit zvýšený objemový tok vzduchu (tím by i odsávací rychlosti měli být vyšší) a postupem času, jak se filtr bude zanášet, bude docházet k zvyšování tlakové ztráty (až na hodnotu celkové tlakové ztráty 320 Pa) a objemový tok klesat (až k hodnotě $799,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$). Je vhodné, aby celková tlaková ztráta nepřesáhla dopravní tlak ventilátoru pro zvolený objemový průtok, protože by poté došlo k poklesu odsávacích rychlostí pod navrhovanou hodnotu a tím by mohlo dojít k nefunkčnosti odsávání. Z takto popsanych vztahů mezi veličinami a hodnotami lze spočítat maximální dovolenou tlakovou ztrátu na filtru. Do rovnice (13) je dosazeno za Δp_d hodnota 320 Pa, což je maximální hodnota, kterou může dopravní tlak za splnění objemového průtoku mít. Poté do rovnice (13) je dosazena rovnice (12) a poté do této rovnice je dosazena rovnice (11) a je vyjádřeno p_{zF0} , které je následně přeznačeno na p_{zFmax} .

$$\begin{aligned}
 p_{zFmax} &= \Delta p_{zcelk} - \Delta p_{zH-odb} - \frac{\rho}{2} \cdot (w_s^2 \cdot \xi_{přechod_1} + w_v^2 \cdot \xi_{přechod_2}) - \frac{\rho}{2} \cdot w_v^2 \\
 &= 320 - 91,68 - \frac{1,2}{2} \cdot (7,07^2 \cdot 0,36 + 4,52^2 \cdot 0,22) - \frac{1,2}{2} \cdot 4,52^2 = \mathbf{203 \text{ Pa}}
 \end{aligned}$$

Následující obrázek popisuje tlakové poměry v jednotlivých místech potrubí při nejvyšší dovolené tlakové ztrátě na filtru (tedy rychlosti a tlakové ztráty v potrubí odpovídají počítaným hodnotám):



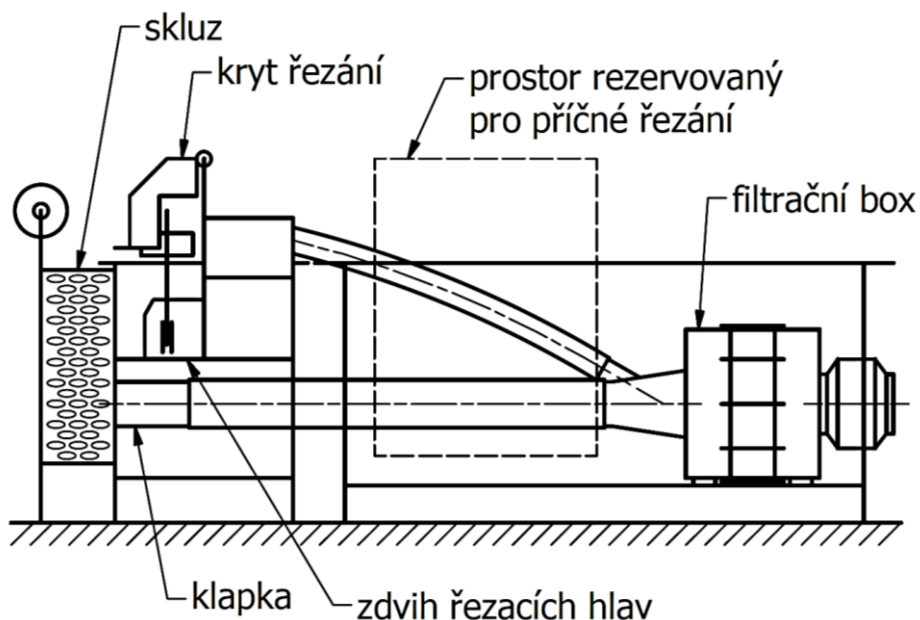
Obrázek 10: Tlakové poměry v potrubí

2.2 Konstrukce

2.2.1 Filtr a jeho box

Filtrační box měl být podle prvního návrhu umístěn co nejblíže odsávaným místům, a to pod stolem (**Obrázek 2**, pozice 6). Toto umístění bylo voleno tak, aby potrubí bylo co nejkratší a tím by byly co nejnižší tlakové ztráty třením v potrubí, také v případě ucpávání potrubí by bylo snadné čištění (vzdálenosti na dosah ruky). Pozice filtračního boxu ale musela být změněna. Pod stolem filtrační box zůstal, ale byl odsunut do větší vzdálenosti od odsávaných míst. Bylo tomu z důvodu, že na stroji se současně navrhovalo příčné řezání filtračního papíru pro výrobu čtvercových filtrů. Při návrhu příčného dělení se počítalo pouze s průchodem potrubí pod stolem.

Umístěním filtračního boxu pod stůl došlo oproti ověřovacímu odsávání ke změně pozice vstupu dolního odsávání. Tato změna měla za účel hlavně snížené tlakové ztráty výrazně jednodušší geometrií potrubí. Dále tato změna přispěla k efektivnějšímu zastavění plochy kolem stroje a zároveň zvýšila pohodlí obsluhy stroje, když odsávací hadice nemíjela těsně krabici pro odpadní odřezky filtračního papíru.



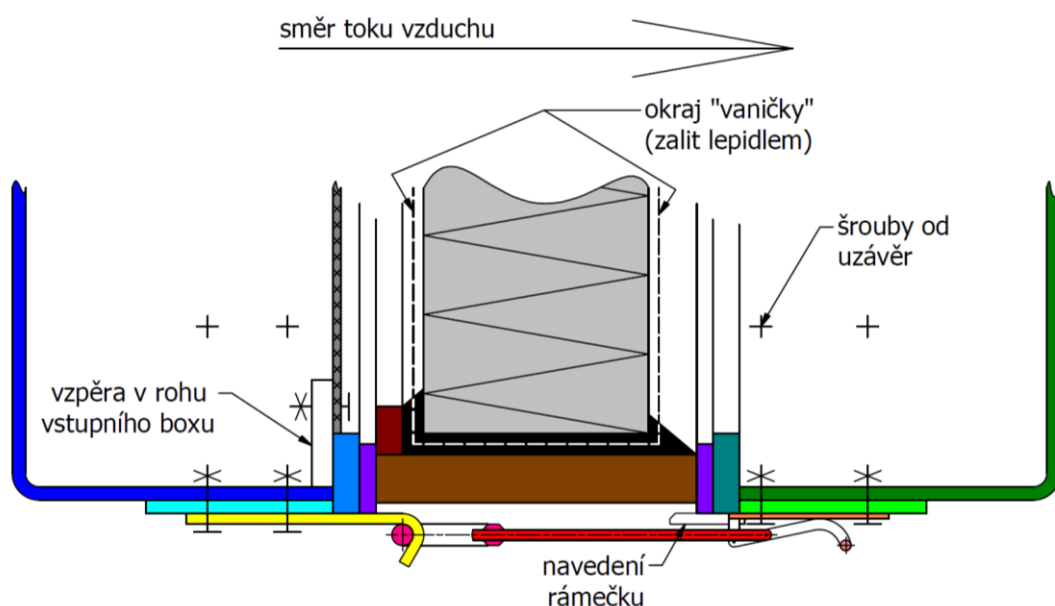
Obrázek 11: Umístění filtračního boxu

Filtrační box je navržen ze dvou kusů, mezi které přijde usadit filtr. Konstrukce boxu je provedena jako svařenec z PVC-U. PVC-U je neměkčený polyvinylchlorid [23]. Pro výrobu rámečku byly zvoleny laminované dřevotřískové desky (označovány jako DTDL). Tyto desky jsou tvořeny dřevotřískovým jádrem a na plochách jsou polepeny papírem, který je zalit melaminovou pryskyřicí [24]. Tento materiál byl zvolen hlavně z cenového a ekologického hlediska, protože po použití přijde celý filtr jako nebezpečný odpad zlikvidovat podle přílohy katalog odpadů vyhlášky č. 93/2016 sb. se jedná o odpad 15 02 02* (* symbolizuje nebezpečný odpad) [25]. Celý „sendvič“ box – filtr – box bude propojen pomocí nastavitelných upínacích uzávěr, které budou umístěny po celém obvodu. Tyto uzávěry jsou voleny pro jejich možnost nastavení dotažení (pomocí závitů) a pro jejich snadnou obsluhu.

Následující **Obrázek 12** zobrazuje návrh filtračního boxu. Uvedený obrázek filtračního boxu je v provedení řezu, a to z důvodu lepší ilustrace celého návrhu (materiál v řezu je vybarven). Odstíny modré označují desky vstupní části boxu (části, na které je připevněna odbočka), odstíny hnědé jsou části rámečku filtru a odstíny zelené jsou desky výstupní části boxu (části, na které je připevněn ventilátor). Světle šedá barva představuje složenec filtru, který je po obvodu zalit lepidlem (barva černá). Mezi rámeček filtru a jednotlivé části boxu je umístěno těsnění (fialové). Spojovací uzávěra má růžovou, červenou a oranžovou barvu, její protikus („hák“) je žlutý.

Aby bylo celou sestavu snadné sesadit, jsou části boxu vybaveny vodícími členy. Na vstupním boxu toto navedení zajišťují háky od uzávěr, na výstupním boxu se jedná o samostatný

konstrukční prvek. Pro zachycení velkých částí odpadu filtračního papíru je před samotný filtr umístěno hrubé síto (tmavě šedá barva), které je pomocí šroubů uchyceno ve vzpěrách vstupního boxu.



Obrázek 12: Schématický řez filtračním boxem

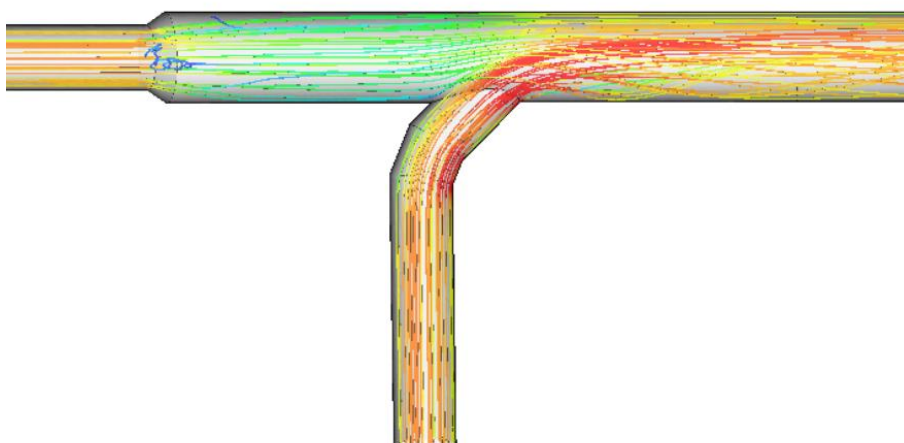
2.2.2 Volba odbočky pro odsávací potrubí

Na trhu je nepřeberné množství různých druhů odboček. Podle počtu odbočujících větví se dají dělit na odbočky jednostranné (jedna odbočující větev) nebo na odbočky oboustranné (dvě odbočující větve). Zvláštní skupinou jsou rozbočky (někde označovány jako odbočky kalhotové), které jsou symetrické, a odklánějí se obě větve (tvoří písmenu „Y“). Dalším parametrem kromě druhu odbočky je úhel, který svírají větve mezi sebou. Standardně se jedná o 90°, ale dle technologických katalogů firem si lze objednat téměř libovolný úhel [26].

Velmi zajímavou skupinou jsou přechodové odbočky. Průběžná větev má proměnlivý průřez – je kuželová. Tento tvar se snaží docílit co nejlepšího rozdělení odsávacího výkonu do jednotlivých větví. Zároveň tento tvar napomáhá, aby proudění bylo co nejlépe rozloženo do celého průřezu a nevznikala v odbočce místa, kde by docházelo k poklesu rychlosti, a tím pádem mohlo docházet k usazování odsávané látky. Aby přechodová odbočka fungovala dobře, mělo by její zúžení být v místě rozdělení proudů, tak jak to ukazují následující obrázky [27]:



Obrázek 13: Proudění ve správně vytvořené přechodové odbočce [27]



Obrázek 14: Proudění ve špatně vytvořené přechodové odbočce [27]

Modré proudnice ukazují místa, kde je nižší rychlost proudění. Výrobce těchto odboček nedoporučuje používat 90° úhel odbočení, poměry v nich jsou naprosto nevhodné [27].

Vzhledem k těmto vlastnostem bylo rozhodnuto pro použití přechodové odbočky. Po průzkumu trhu byla jako dodavatel přechodové odbočky vybrána firma Gidly s.r.o., která se zabývá návrhem vzduchotechniky a prodejem komponentů. Z výpočtů uvedených výše je patrné, že přímý vstup má průměr 180 mm, vstup z odbočení má průměr 100 mm a průměr výstupu byl volen dle vyráběných hodnot 200 mm [28]. Úhel odbočení odbočky byl volen tak, aby hadice nevytvářela oblouky navíc a vedla co nejpříměji ke zdroji. Proto bylo zvoleno 45°.

2.2.3 Návrh zakrytování

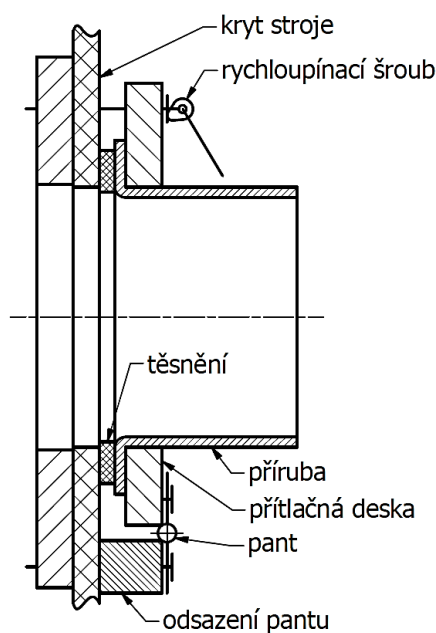
Navrhované kryty jsou navrženy na stejné pozice, jako jsou umístěny papírové kartonové kryty na ověřovacím krytování prostoru pod skluzem. Ještě budou přidány kryty v horní přední části řezačky, tak aby bylo co nejvíce proudícího vzduchu nuceno obtékat řezací hlavy. Pro kryty, které

jsou ploché, budou použity polykarbonátové desky bez UV stabilizace (obchodní označení PALTUF). Tyto desky jsou čiré a s vysokou rázovou houževnatostí. Z důvodu chybějící UV stabilizace jsou určeny pro vnitřní použití [29]. Kryty, které jsou tvarově složitější (zakrytování přesahu skluzu a vrchní kryt vstupu do řezačky), budou vyrobeny z PETG, kterou lze ručně ohýbat.

Takto navrhované zakrytování je pevně spojeno s hliníkovými profily, ze kterých je stroj postaven, a znemožňuje úklid prostoru pod skluzem. Aby tato činnost, kterou provádějí pracovníci po každém vypnutí stroje, byla možná, dojde i k vlastní úpravě tohoto skluzu. Skluz bude uchycen pouze v horní části, a to tak, aby se dal snadno odklopit. Vzniklý průchod bude pro hadici vysavače dostatečně velký.

2.2.4 Návrh připojení potrubí na odsávací místa

Z důvodu požadavku na modularitu zařízení bylo nutné navrhnout odpojitelné připojení odsávacího potrubí ke krytům stroje. V požadavcích vedení firmy bylo, aby nemuselo být použito jakéhokoliv nářadí. Z toho důvodu bylo navrženo spojení stlačením přírub konců potrubí (na horním odsávacím místě se jednalo o přírubu na konci hadice, na dolním odsávacím místě se jednalo o přírubu na klapce) mezi kryt a přitlačnou desku. Tato přitlačná deska bude ke krytu uchycena ve spodní části pomocí odsazeného pantu a v horní části bude dotáhnuta pomocí rychloupínacího prvku se závitem. Příruba bude v přitlačné desce zasazena do otvoru o tvaru „U“ (příruba z vrchu půjde volně vyndat). Na příruby pro zvýšení vzduchotěsnosti bude umístěno těsnění. Jelikož zakrytování bude provedeno z polykarbonátu, je zde obava o nedostatečnou tuhost (zvláště v dolním odsávacím místě, kde je velký průměr vstupu), z toho důvodu bude polykarbonát v místě připojení podložen ocelovým plechem, který zajistí rovinnost krytu pro dosednutí příruby a zároveň v něm jsou otvory se závity. Odsazení pantu bude muset být doladěno výškově podle tloušťky příruby s těsněním.



Obrázek 15: Schéma připojení odsávacího potrubí ke krytům stroje

3 Realizace

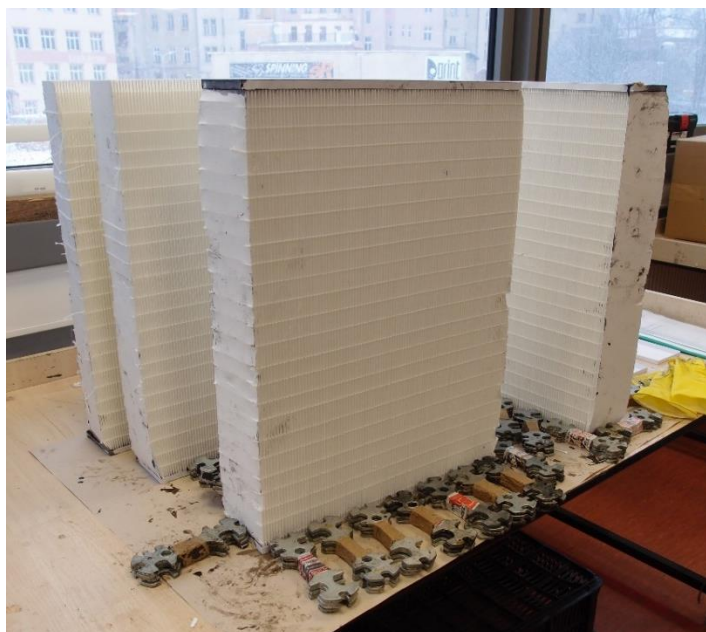
3.1 Výroba filtru

Po prohlídce vyrobených složenců filtru bylo zjištěno, že lepidlo, které drží složený tvar a zároveň má po zalití filtru fungovat jako těsnící okraj, je příliš daleko od kraje a není kontinuálně spojeno. Tedy zalití k lepidlu by bylo daleko a ještě by pravděpodobně nedošlo k zatěsnění. Nejjednodušším řešením bylo vytvoření nového okraje na složenci filtru, ke kterému bude složenec filtru těsněn.

Pro vytvoření nové těsnícího okraje byly vyrobeny z papíru „vaničky“, do kterých byl kraj složence filtru vsazen. Poté byl takto vsazený složenec filtru s „vaničkou“ ustaven na stole a „vanička“ zalita dvousložkovým polyuretanem FERMADUR o složkách A-113-5-VP1, složka A, a B-N, složka B (dále označován v této práci dvousložkový polyuretan FERMADUR). Tato operace byla provedena na obou stranách složence filtru.



Obrázek 16: „Vanička“ pro vytvoření těsnícího okraje filtru



Obrázek 17: Vytváření těsnící linie na složencích filtru

Obrázek 17 zobrazuje složenec filtru, který má již z jedné strany (v horní části obrázku) těsnící linii hotovou, a druhá strana (spodní) je těsně po zalití.

Pro takto vytvořený složenec filtru byl vytvořen rámeček z DTDL desek. Samotná dřevotřísková jádra se nedají považovat za vzduchotěsné, proto rámeček je navrhnut tak, aby plochy, které by se mohly dostat do styku s odsávaným vzduchem, byly ty, které jsou zality pryskyřicí. Styk ploch DTDL desek se vzduchem je celkově pouze na drobných plochách, protože celý vnitřek rámečku byl vylit dvousložkovým polyuretanem FERMADUR.

Rámeček je tvořen 4 deskami po obvodu a na jednom konci je doplněn o latě vyrobené z DTDL desek tvořící hranu. Čelo rámečku (plochy desek, kde není papír zalitý pryskyřicí) bylo polepeno speciální páskou, díky které vznikla plocha pro budoucí nalepení vlastního těsnění.



Obrázek 18: Rámeček pro filtr

Fyzické vložení složenců filtru do rámečku je provedeno tak, že složenec filtru byl po obvodu zalit dvousložkovým polyuretanem FERMADUR. Po vytvrdnutí lepidla byly změřeny rozměry složence filtru, který zůstal nezalitý. Šířka volného složence filtru je 550 mm a výška 400 mm. Jako poslední byla na takto vzniklý filtr nalepena těsnící vrstva pěnového samolepícího těsnění.



Obrázek 19: Hotový filtr

3.2 Potrubí

3.2.1 Přechodová odbočka pro odsávací potrubí

Odbočka byla dodána firmou Gidly s.r.o., a to na přání podle výpočtů a návrhů popsanych v této práci. Vstupní hrdla byla vybavena osazením pro uchycení hadic (podle označení dodavatele hadicová mufna). Výstupní otvor byl zakončen osazením pro nýtování. Do výstupu byla vložena příruba DN 200, do které byly umístěny otvory pro šrouby. Přes tuto přírubu je odbočka připojena k filtračnímu boxu.



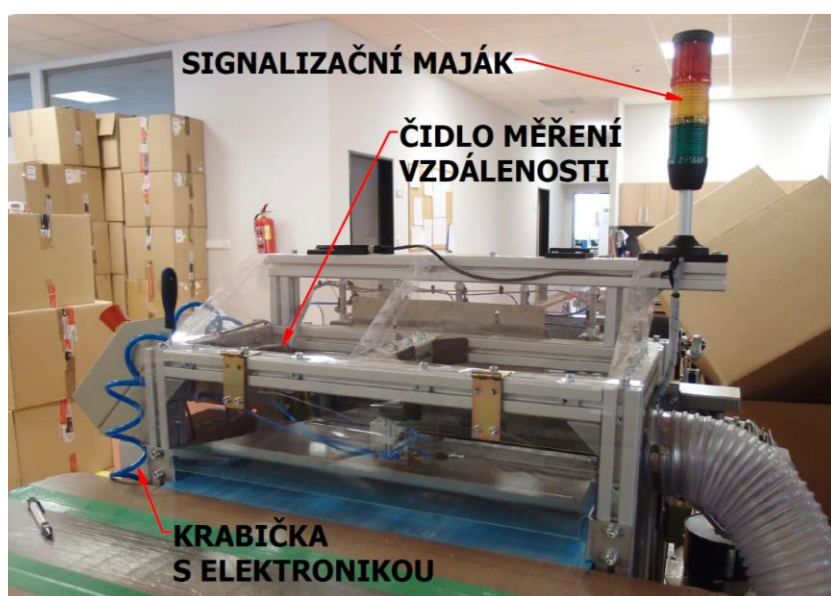
Obrázek 20: Přechodová odbočka s nanýtovanou přírubou

3.3 Zakrytování

Polykarbonátové desky byly vyrobeny podle vytvořené výkresové dokumentace firmou TITAN - MULTIPLAST s.r.o.. Aby bylo možné zakrytovat veškerá plánovaná místa, bylo nutné provést úpravu elektroinstalace stroje. Byla zajištěna úprava elektroinstalace zařízení z původního místa na vrchu stroje na novou pozici pod ovládací panel. Ze stejné pozice byl přesunut i signalizační maják, a to na boční hranu stroje. Po těchto úpravách byly změněny i trasy kabelů tak, aby co nejméně zasahovaly do krytů. Při zásahu do elektroinstalace byla změněna i pozice čidla (kolečka), měřící vzdálenost posunutí složence, na druhou stranu stroje tak, aby co nejméně stínilo vstup do horního odsávacího potrubí. Původní pozice těchto zařízení ukazuje **Obrázek 21**. Nové umístění ukazuje **Obrázek 22**, na tomto obrázku je vidět i nainstalované zakrytování.



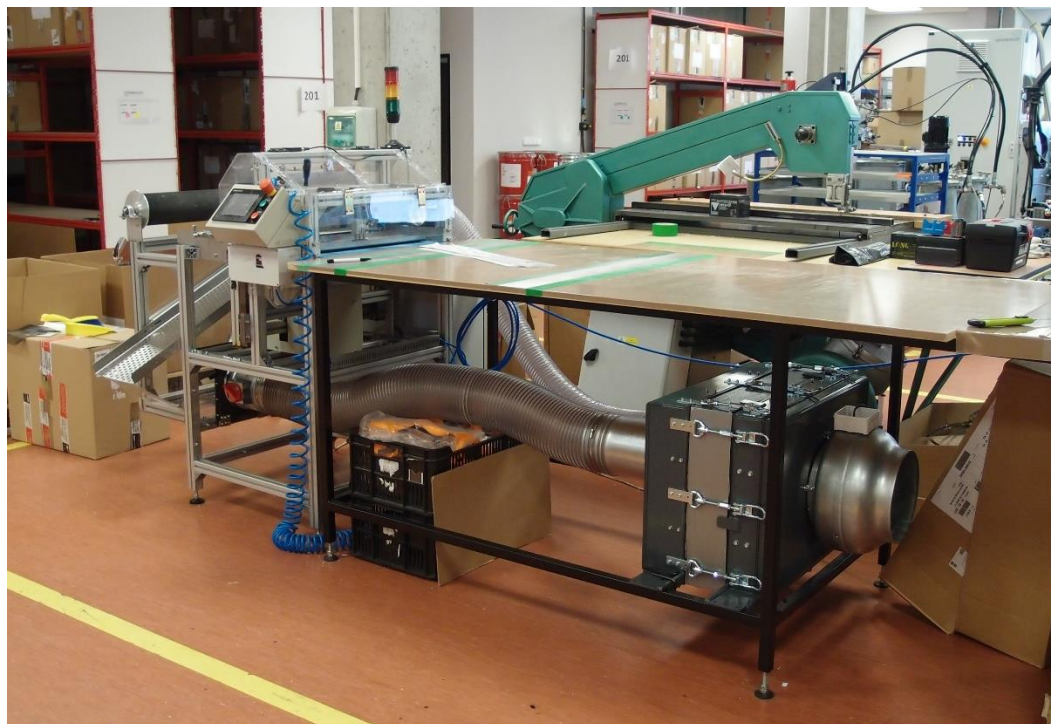
Obrázek 21: Původní umístění elektrozařízení



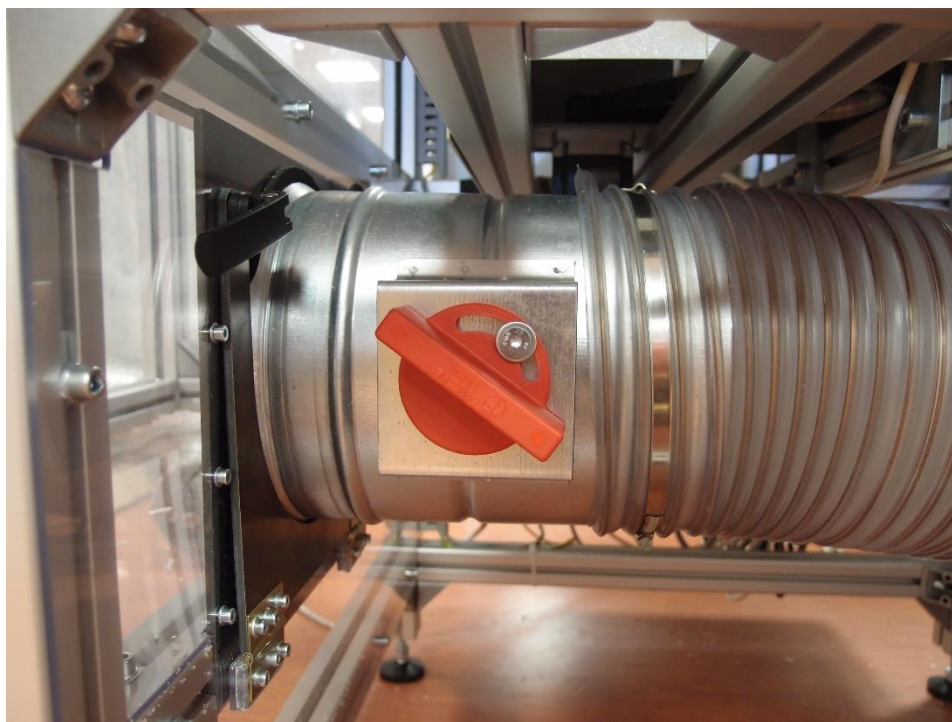
Obrázek 22: Nové umístění elektrozařízení

3.4 Instalace odsávání

Instalace odsávání proběhla podle konstrukčního návrhu. Odsávání bylo instalováno ještě před instalací plánovaného příčného dělení, proto bylo potrubí zkráceno s dostatečnou rezervou. Následující obrázek zobrazuje instalované odsávání:



Obrázek 23: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců



Obrázek 24: Instalované odsávání – detail na připojení potrubí ke stroji

4 Měření

Pro ověření funkčnosti navrhnutého odsávání je nutné provést měření četnosti výskytu částic. Měření je provedeno na několika místech haly v okolí stroje, kde je porovnávána četnost částic za klidu stroje proti stavu za chodu stroje. Pro ověření účinnosti filtru je prováděno měření výskytu částic před a za filtrem ve filtračním boxu. Pro ověření hodnot z výpočtové části je změřena rychlost vzduchu na vstupech do potrubí.

Předmětem této práce není statistická analýza ovzduší pracovišť. Z toho důvodu bude u důležitých statistických výběrových souborů určena pouze směrodatná odchylka výběrového souboru podle vztahu [30]:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (14)$$

Kde n je počet hodnot v souboru, x_i jsou hodnoty v souboru, \bar{x} je střední hodnota výběrového souboru (bodový odhad).

4.1 Měřicí přístroje

4.1.1 Čítač částic

Pro měření množství částic ve vzduchu byl použit přenosný optický čítač částic (v originále Portable Laser aerosolsúectrometer and dust monotor) od společnosti „GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH & Co“, model 1.109. Opakovatelnost měření přístroje jsou ± 3 %. Přístroj umí částice spočítat a roztrdit podle velikosti v rozsahu od $0,25 \mu\text{m}$ do $32 \mu\text{m}$ v 31 velikostních intervalech (v tabulkách z měření jsou udávány střední hodnoty těchto intervalů). Tento výstup z přístroje je udáván v počtu částic na litr [ks/l]. Přístroj také umí určit hmotnostní koncentraci (jednotky $\mu\text{g}/\text{m}^3$), při které částice roztrdit do skupin PM1, PM2,5, PM10 [31]. PM10 označuje částice menší než $10 \mu\text{m}$, PM2,5 částice menší než $2,5 \mu\text{m}$, PM1 částice menší než $1 \mu\text{m}$ [13].

4.1.2 Anemometr

K měření rychlosti vzduchu byl použit anemometr TROTEC TA300. Přístroj měří rychlost v rozsahu od $0,1 \text{ m/s}$ do 25 m/s s chybou ± 5 % + 1 digit z naměřené hodnoty. Přístroj také zvládá měřit teplotu, ale tato funkce v této bakalářské práci nebude využita [32].

4.1.3 Tlakoměr

Diferenční tlakoměr GDH 200-70 firmy GREISINGER electronic. Tlakoměr umí pracovat v rozsazích 0 až $19,99 \text{ mbar}$ ($=\text{hPa}$) s rozlišením $0,01 \text{ mbar}$ a v rozsahu $20,0$ až $199,9 \text{ mbar}$. Přesnost přístroje je při rozsahu 0 až $19,99 \text{ mbar}$ ± 1 % a při vlivu teploty ± 2 % z plného rozsahu (v literatuře označováno zkratkou FS = full scale). Při rozsahu $20,0$ až $199,9 \text{ mbar}$ je přesnost $\pm 0,2$ % a při vlivu teploty $\pm 0,4$ % z plného rozsahu [33].

4.2 Měření výskytu částic v okolí stroje

Měření výskytu částic bylo prováděno v náhodných okamžicích v čase směny tak, aby bylo co nejméně ovlivněno okolními pracovišti. Měření probíhalo přibližně minutu, kdy čítač částic

The diagram illustrates the layout of a workshop with three workstations (A, B, and C) and their associated equipment and storage areas. The layout is defined by a wall on the left and a corner on the bottom right.

- Workstation A:** Labeled "ruční řezačka" (hand saw). It is located near a "kuchýňka" (stove) and a "skladovací regál" (storage rack). A distance of 7 m is indicated from the storage rack to the saw.
- Workstation B:** Labeled "sklad. plocha" (storage area). It is located in the corner of the workshop, adjacent to a "skladovací regál" (storage rack) and a "skladovací plocha" (storage area).
- Workstation C:** Labeled "řezačka složenců" (planer). It is located near a "pásová pila" (band saw) and a "sklad s uhlím" (coal storage). A distance of 4 m is indicated from the planer to the coal storage.

Other equipment and storage areas include a "zdroj částic" (dust source) near the planer, a "regál" (rack) near the coal storage, and a "sklad s uhlím" (coal storage) near the planer.

Jednotlivé soubory měření jsou v příloze. Tabulky v této kapitole obsahují průměrné hodnoty z jednotlivých měření – velikostní intervaly hledaných skelných mikrovláken.

Jedno měření ze zimy je použito pro určení rozměrů odsávaných částic. První měření bylo provedeno cca 30 min před spuštěním stroje a druhé měření cca 30 min po spuštění stroje. Výsledky těchto měření ukazuje následující tabulka:

Pozice měření	Střední velikost částic [μm]	Množství před spuštěním stroje [ks/l]	Množství po spuštění stroje [ks/l]	Absolutní zvýšení [ks/l]	Relativní zvýšení [-]	Průměrné relativní zvýšení [-]
A	0,265	34120	44650	10530	1,31	1,19
B		33730	35010	1280	1,04	
C		36530	44260	7730	1,21	

Tabulka 4: Určení odsávané velikosti sklených mikrovláken – pokračování

A	0,290	19100	34355	15255	1,80	1,63
B		19580	26750	7170	1,37	
C		20190	34430	14240	1,71	
A	0,325	14725	34075	19350	2,31	2,12
B		15295	26055	10760	1,70	
C		14560	34190	19630	2,35	
A	0,375	8555	27980	19425	3,27	2,98
B		9010	21285	12275	2,36	
C		8475	28020	19545	3,31	
A	0,425	3130	13565	10435	4,33	3,8
B		3590	10845	7255	3,02	
C		3375	13670	10295	4,05	
A	0,475	1050	4400	3350	4,19	3,89
B		1090	3530	2440	3,24	
C		1045	4420	3375	4,23	
A	0,540	1465	6095	4630	4,16	4,21
B		1345	4905	3560	3,65	
C		1230	5930	4700	4,82	
A	0,615	845	3065	2220	3,63	3,87
B		815	2380	1565	2,92	
C		565	2860	2295	5,06	
A	0,675	265	825	560	3,11	2,96
B		290	675	385	2,33	
C		225	775	550	3,44	
A	0,750	280	585	305	2,09	1,76
B		275	490	215	1,78	
C		360	510	150	1,42	
A	0,900	225	250	25	1,11	0,89
B		160	115	-45	0,72	
C		210	175	-35	0,83	
A	1,150	140	90	-50	0,64	0,49
B		110	55	-55	0,50	
C		160	55	-105	0,34	
A	1,450	35	35	0	1	0,98
B		60	20	-40	0,33	
C		50	80	30	1,60	
A	1,800	100	45	-55	0,45	0,46
B		60	20	-40	0,33	
C		75	45	-30	0,60	

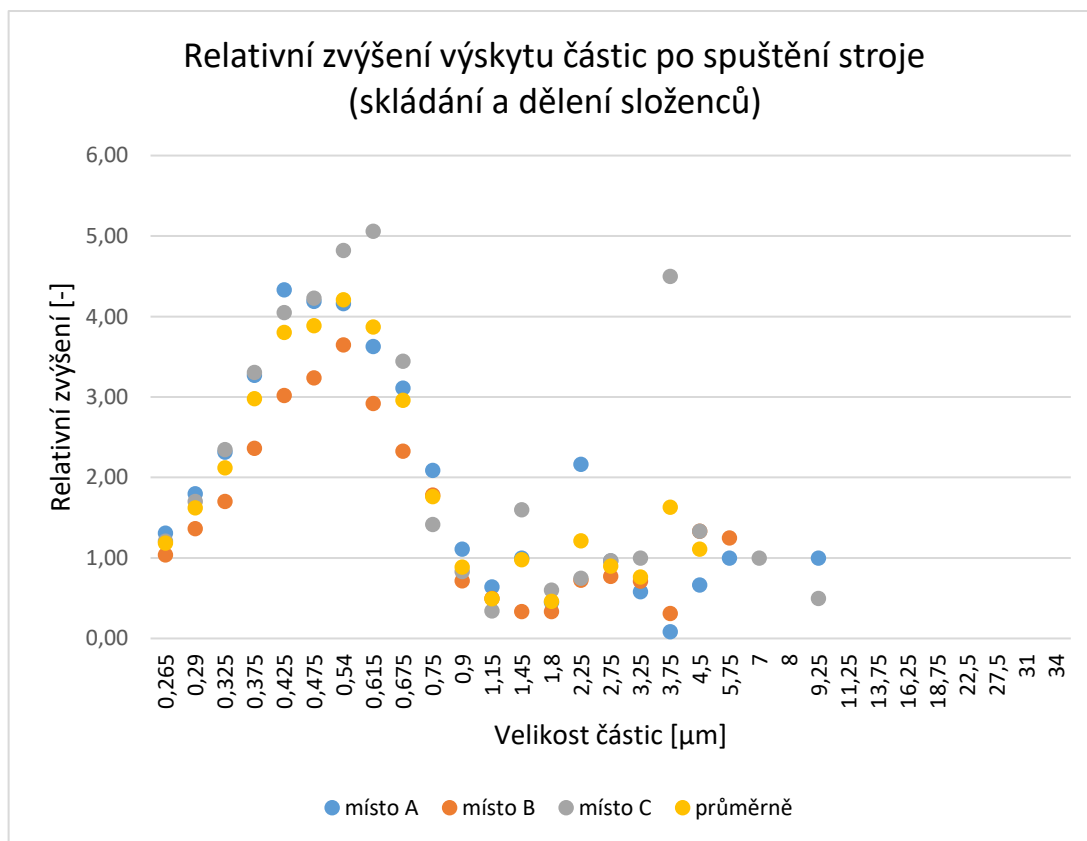
Tabulka 4: Určení odsávané velikosti sklených mikrovláken – pokračování

A	2,250	30	65	35	2,17	1,21
B		69	50	-19	0,72	
C		64	48	-16	0,75	
A	2,750	28	27	-1	0,96	0,90
B		35	27	-8	0,77	
C		30	29	-1	0,97	
A	3,250	12	7	-5	0,58	0,76
B		14	10	-4	0,71	
C		9	9	0	1	
A	3,750	12	1	-11	0,08	1,63
B		16	5	-11	0,31	
C		2	9	7	4,50	
A	4,500	9	6	-3	0,67	1,11
B		6	8	2	1,33	
C		6	8	2	1,33	
A	5,750	2	2	0	1	-
B		4	5	1	1,25	
C		0	8	8	-	
A	7,000	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		2	2	0	1	
A	8,000	0	0	0	-	-
B		1	0	-1	0	
C		0	0	0	-	
A	9,250	1	1	0	1	-
B		0	0	0	-	
C		2	1	-1	0,50	
A	11,250	0	1	1	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	1	1	-	
A	13,750	1	0	-1	0	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	
A	16,250	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	
A	18,750	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	

Tabulka 4: Určení odsávané velikosti sklených mikrovláken – pokračování

A	22,500	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	
A	27,500	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	
A	31,000	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	
A	34,000	0	0	0	-	-
B		0	0	0	-	
C		0	0	0	-	

V tabulce mají největší absolutní (a většinou i relativní) zvýšení koncentrace částice o velikosti do 0,750 μm , mělo by se tedy jednat o částice, které vznikají při řezání složenců. Pro zpřehlednění následujících tabulek budou uváděny velikostní intervaly jen do hodnoty 0,900 μm . Vliv spuštění stroje na množství částic v jeho okolí ještě názorně ukazuje následující graf (**Graf 1**), kde je zobrazena hodnota relativního zvýšení výskytu částic. V grafu je ještě poměrně velké zvýšení u místa C, při velikosti částice 3,750 μm . Tato hodnota je ale zavádějící, protože při prvním měření to jsou 2 částice a při druhém 9 částic, i kdyby se jednalo o částice vzniklé řezáním, jejich množství je zanedbatelné.



Graf 1: Relativní zvýšení výskytu částic po spuštění stroje

4.2.1 Měření pozadí na hale

Tabulka 5: Množství částic bez spuštění řezačky, místo A

Střední velikost částic [μm]	0,265 [ks/l]	0,290 [ks/l]	0,325 [ks/l]	0,375 [ks/l]	0,425 [ks/l]	0,475 [ks/l]	0,540 [ks/l]	0,615 [ks/l]	0,675 [ks/l]	0,750 [ks/l]	0,900 [ks/l]
Datum měření											
24. 3. 2018 14:53	110617	72660	58850	38450	14691	4195	5114	2068	709	709	473
26. 3. 2018 12:50	78360	48920	38365	21810	8615	2555	3600	1805	750	660	410
30. 4. 2018 13:46	81403	49150	34440	19715	7125	1850	2020	910	365	370	275
4. 5. 2018 9:29	44880	24180	16465	8640	3175	1020	1450	775	360	390	250
17. 5. 2018 10:23	165381	123734	111062	76770	32805	9775	14245	7310	2785	2475	1270
18. 5. 2018 10:09	75076	72757	87962	70790	29720	8160	8750	3990	1310	1295	745
průměrně	92620	65234	57857	39363	16022	4593	5863	2810	1047	983	570
$\bar{\sigma}$	41314	33895	35720	28375	12411	3583	4869	2488	920	804	386

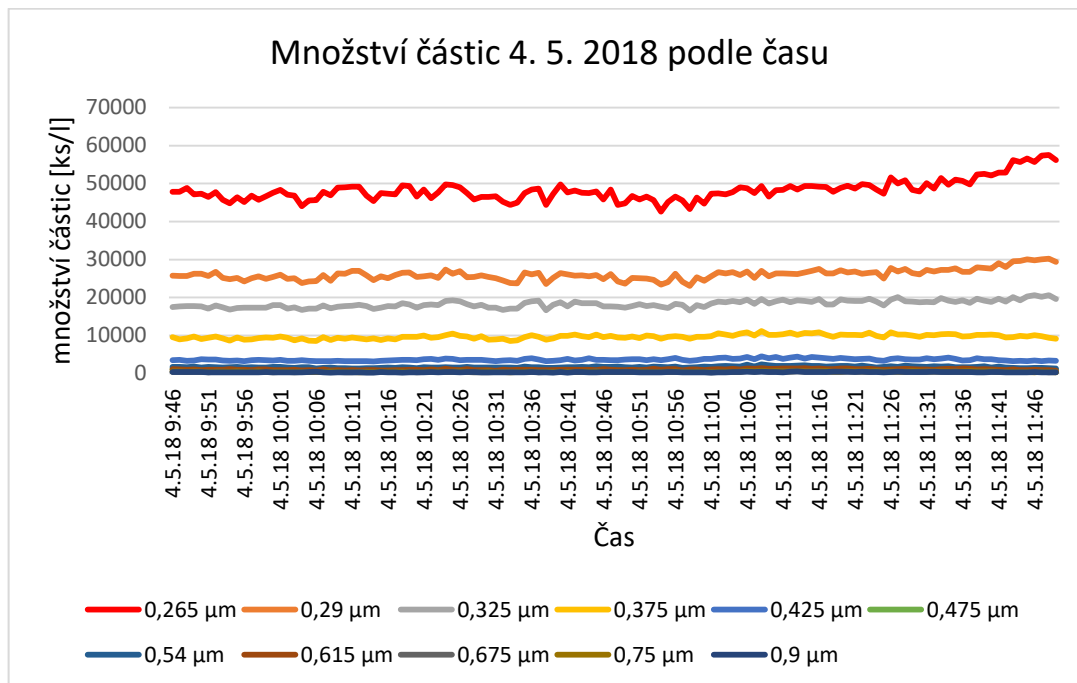
Tabulka 6: Množství částic bez spuštění řezačky, místo B

Střední velikost částic [μm]	0,265 [ks/l]	0,290 [ks/l]	0,325 [ks/l]	0,375 [ks/l]	0,425 [ks/l]	0,475 [ks/l]	0,540 [ks/l]	0,615 [ks/l]	0,675 [ks/l]	0,750 [ks/l]	0,900 [ks/l]
Datum měření											
24. 3. 2018 14:39	100577	64975	52805	33605	12520	3745	4970	2210	705	830	555
26. 3. 2018 12:37	83315	52295	40065	23690	9615	3105	9370	2170	965	765	460
30. 4. 2018 13:35	86171	50623	35582	20091	6941	1818	2132	973	400	441	305
4. 5. 2018 9:22	45286	25077	16564	8964	3345	1123	1409	805	386	414	255
17. 5. 2018 10:06	130150	102129	94621	64915	27055	7700	10020	4500	1960	1605	800
18. 5. 2018 9:57	66227	68370	89405	75905	33390	8520	9320	3740	1220	1145	785
průměrně	85288	60578	54840	37862	15478	4335	5303	2400	939	867	527
σ	29033	25434	31099	26642	11984	3077	3619	1475	595	452	232

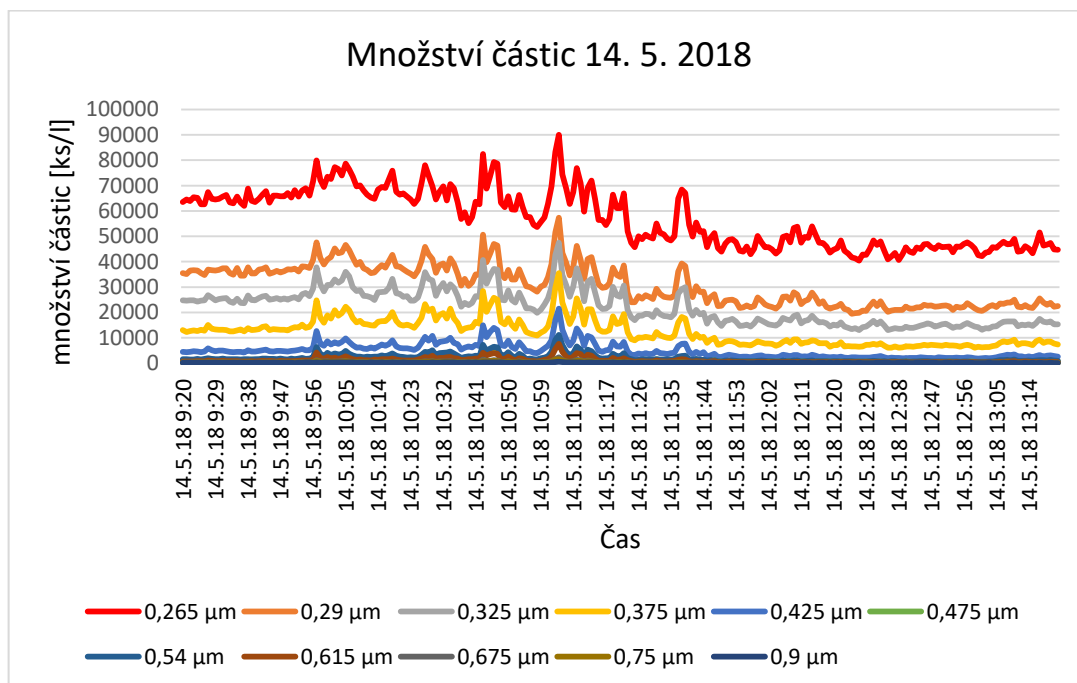
Tabulka 7: Množství částic bez spuštění řezačky, místo C

Střední velikost částic [μm]	0,265 [ks/l]	0,290 [ks/l]	0,325 [ks/l]	0,375 [ks/l]	0,425 [ks/l]	0,475 [ks/l]	0,540 [ks/l]	0,615 [ks/l]	0,675 [ks/l]	0,750 [ks/l]	0,900 [ks/l]
Datum měření											
24. 3. 2018 14:46	104579	70215	57440	37050	13885	3730	4430	1815	715	730	460
26. 3. 2018 12:45	78746	50820	38490	22655	8870	2665	3640	2085	850	680	430
30. 4. 2018 13:41	100512	62900	44950	26560	9430	2475	2840	1290	365	390	300
4. 5. 2018 9:36	39405	21630	15895	8310	3345	905	1475	730	305	305	185
17. 5. 2018 10:13	136324	105105	96459	65820	26875	8075	10420	4945	2000	1670	945
18. 5. 2018 10:09	67503	67490	89365	75430	32400	8720	9425	3815	1135	1115	645
průměrně	87845	63027	57100	39304	15801	4428	5372	2447	895	815	494
σ	33567	27211	30926	26129	11363	3211	3671	1608	623	507	270

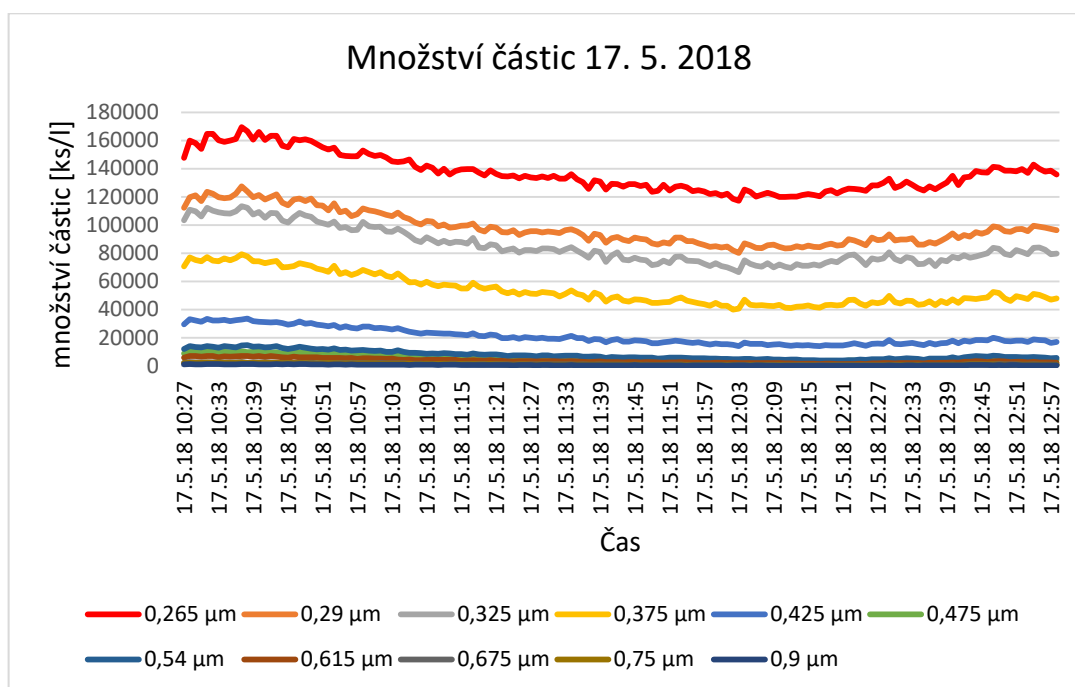
Následující hodnoty vykazují velké směrodatné odchylky. Z toho důvodu tato data nebyla použita jako vycházející hodnoty „čistého“ vzduchu. Pro detailnější rozbor bylo provedeno několik dlouhodobých měření, ze kterých byly vytvořeny následující grafy. Měření probíhalo v četnosti 1 měření / minuta na místě A. V grafech jsou vyobrazeny množství částic podle jednotlivých velikostních intervalů [μm].



Graf 2: Dlouhodobé měření výskytu částic 4. 5. 2018



Graf 3: Dlouhodobé měření výskytu částic 14. 5. 2018

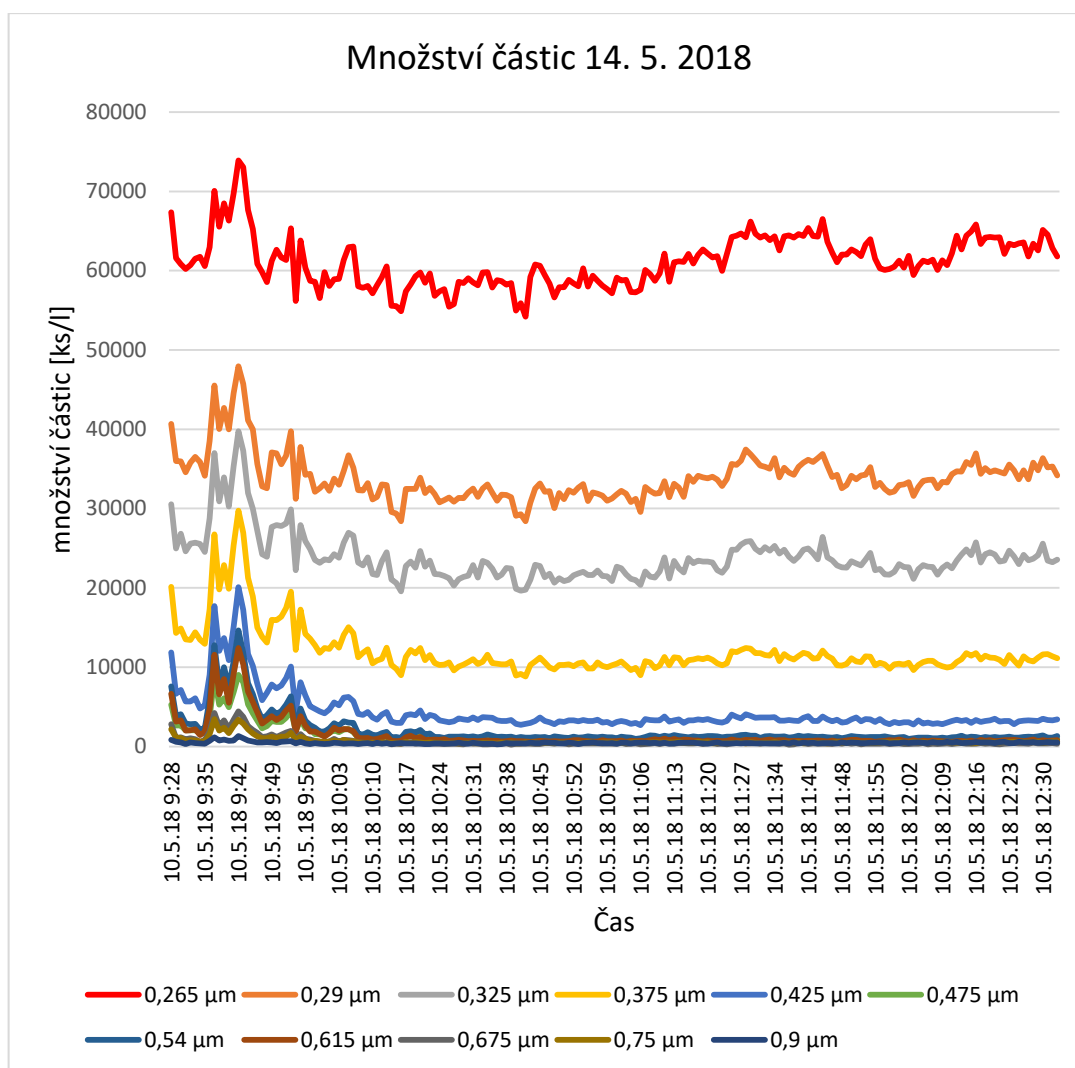


Graf 4: Dlouhodobé měření výskytu částic 17. 5. 2018

Souběžně se sběrem dat bylo prováděno pozorování činnosti na hale. Ve dnech 4. a 17. 5. byly prováděny výrobní operace, u kterých není předpoklad zvýšené prašnosti (zalévání filtrů a jejich kontrola). Tento fakt je z grafů patrný (**Graf 2**, **Graf 4**) pozvolným vývojem množství částic. Dne 14. 5. bylo na hale prováděno v čase 9:55 až do konce pozorování (do času 13:22) občasně řezání složenců filtračního papíru na pásové pile (u této činnosti obsluze nejsou předepsané ochranné pomůcky). Od 10:55 do 11:15 je prováděno plnění filtrů aktivním uhlím. Plnění probíhalo pomocí vibračního zařízení a obsluha u této činnosti jsou předepsány ochranné pomůcky. Z toho důvodu jsou hodnoty na grafu (**Graf 3**) velmi rozptýlené. Z výše uvedených grafů vyplývá, že o „kvalitě“ prostředí dílny více vypovídá průběh hodnot koncentrace částic než jejich samotná hodnota koncentrace (za předpokladu že velké množství prašných činností na dílně produkují škodlivé částice).

4.2.2 Měření bez odsávání

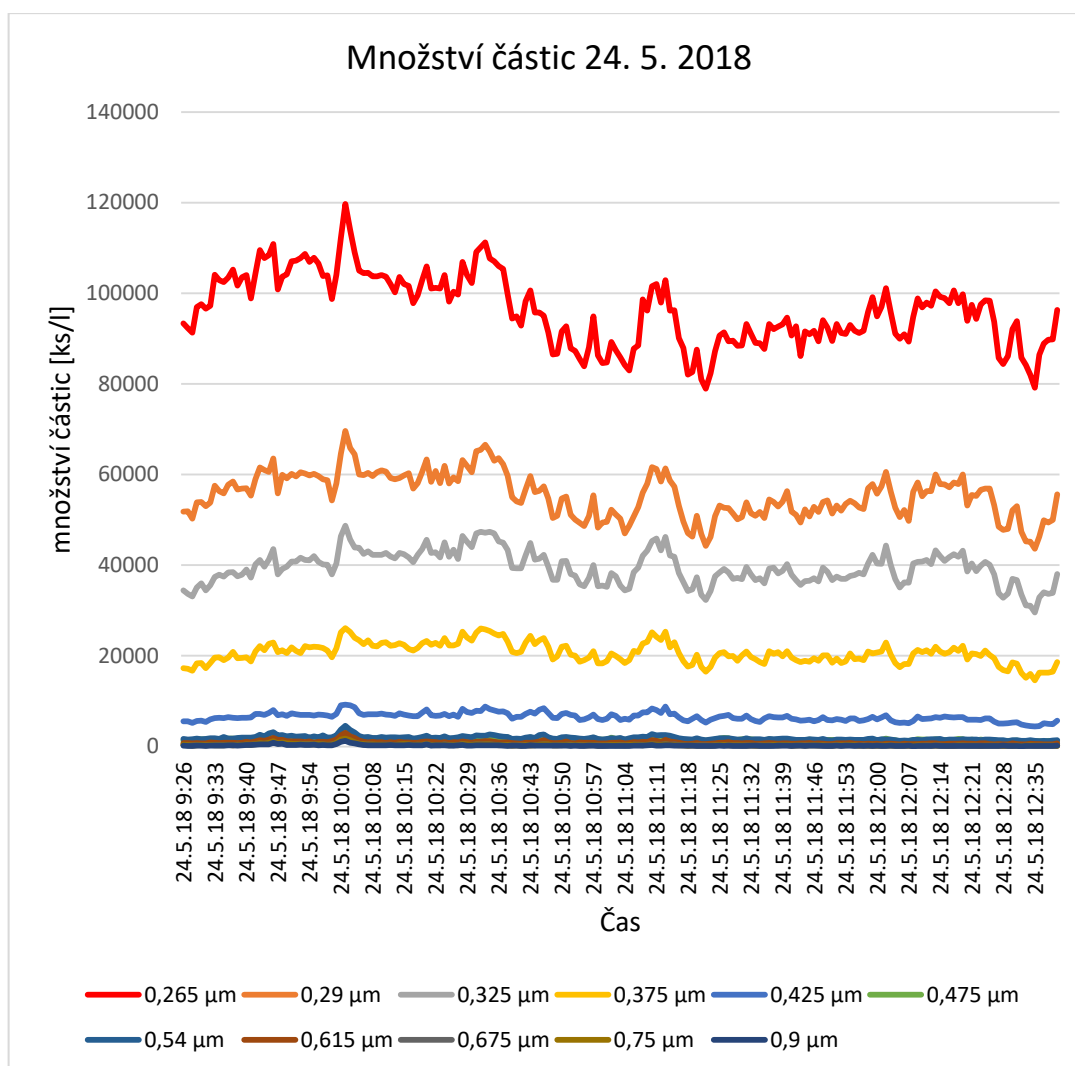
Podle výsledků měření, které byly k dispozici z měření pozadí na hale, bylo rozhodnuto o měření delších časových úseků, aby při tomto měření bylo možné porovnávat dva stavy zároveň. Následující **Graf 5** zobrazuje počáteční stav na hale, v čase 9:20 došlo k zapnutí skládacího stroje a v čase 9:35 bylo sepnuto řezání složenců. Stroj byl vypnut v čase 10:00 a další záznam ukazuje ustavování množství částic na původních hodnotách. Měření probíhalo stejným způsobem jako v případě měření pozadí na hale – vzorkování 1 měření / minuta, na místě A.



Graf 5: Dlouhodobé měření výskytu částic 14. 5. 2018

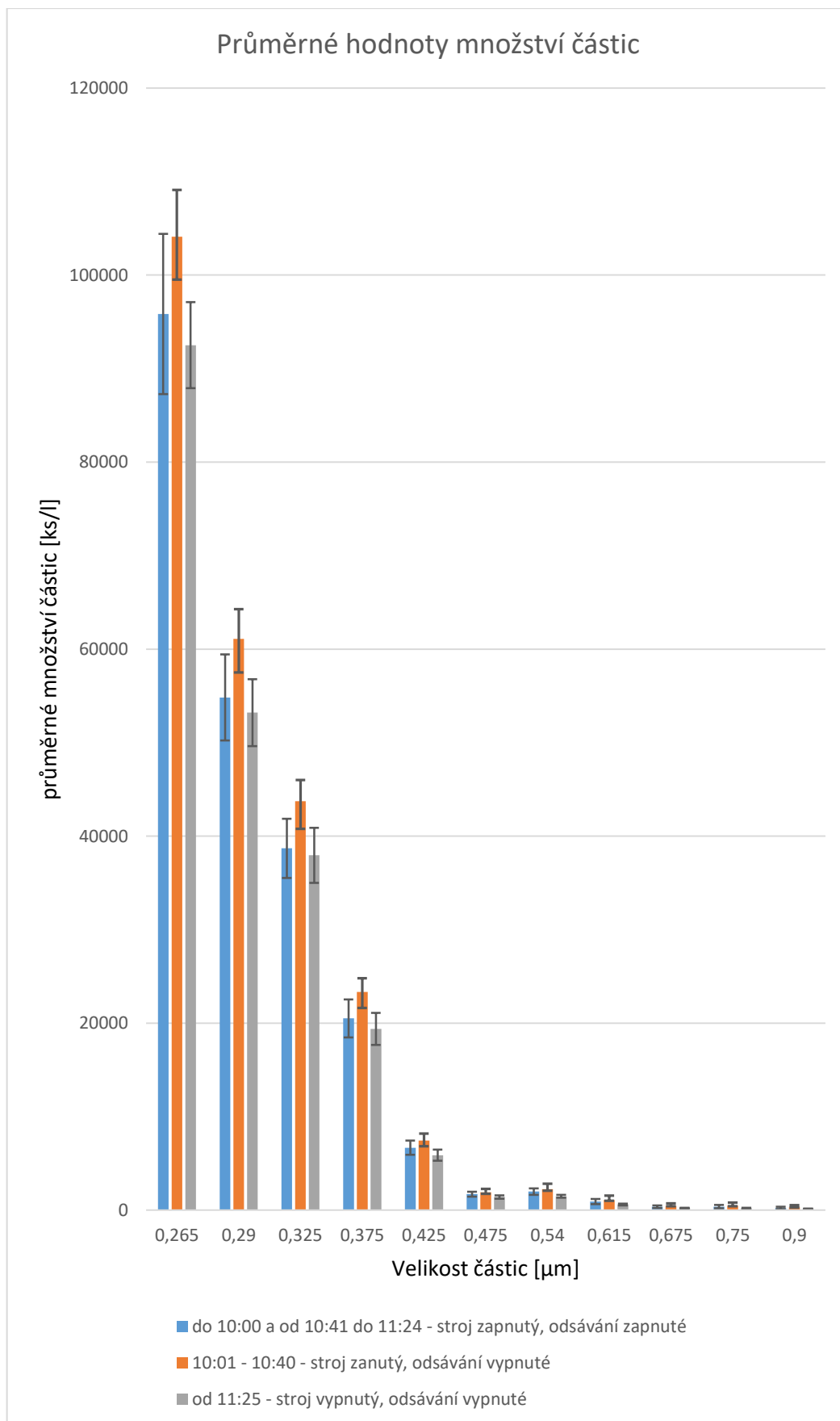
4.2.3 Měření s navrhnutým odsáváním

Z již zmiňovaných důvodů nelze přijatelně porovnat nové navrhované odsávání a zakrytovaný stroj se strojem bez doplněných krytů a bez odsávání. Proto bylo provedeno měření porovnávací stav vypnutého stroje, zapnutý stroj se zapnutým odsáváním a zapnutý stroj s vypnutým odsáváním. Měření ukazuje následující **Graf 6**. Od začátku měření byl stroj i odsávání zapnuté, v čase 10:00 došlo k vypnutí odsávání, v čase 10:41 bylo odsávání zapnuto, v čase 11:25 byl stroj vypnut.



Graf 6: Měření účinnosti odsávání

V okamžiku, kdy bylo vypnuté odsávání, jsou vidět dva větší výkyvy (špička v 10:02 a v 10:33). Výkyv v čase 11:13 je v okamžiku, kdy obsluha ukončovala výrobu a prováděla úklid odpadu a materiálu v okolí stroje, tato špička mohla vzniknout touto činností. Následně byly spočítány průměrné hodnoty v jednotlivých úsecích měření a zaneseny do grafu i se znázorněním směrodatné odchylky:



Graf 7: Měření účinnosti odsávání – střední hodnoty výskytu částic

Při započítání výkyvu množství částic při úklidu stroje do kategorie „do 10:00 a od 10:41 do 11:24 - stroj zapnutý, odsávání zapnuté“ vyšly průměrné hodnoty jednotlivých velikostních frakcí nižší, než při vypnutém odsávání. Měření neprokazuje, jakou měrou zadržují částice instalované kryty na stroji, proto nelze provést rozumné porovnání úplně původního stavu (stroj nezakrytován a bez odsávání). Při porovnání zapnutého stroje se zapnutým odsáváním proti hodnotám při vypnutém stroji vidíme určitý nárůst. Ovšem je bez laboratorních testů nemožné určit, jestli tento nárůst jsou pouze skelná mikrovlákná. Měřicí přístroj rozlišuje pouze velikosti částic, nikoliv jejich druh. Není tedy možné z tohoto měření rozlišit od sebe nebezpečné částice a obyčejný prach zvířený strojem (nebo i jinou činností). Hodnoty z grafu ještě sumarizuje a porovnává následující tabulka:

Tabulka 8: Průměrné hodnoty množství částic

Stav											
A	stroj zapnutý, odsávání zapnuté										
B	stroj zapnutý, odsávání vypnuté										
C	stroj vypnutý, odsávání vypnuté										
Střední velikost částic [μm]	0,265	0,290	0,325	0,375	0,425	0,475	0,540	0,615	0,675	0,750	0,900
Stav											
A [ks/l]	95846	54820	38691	20507	6679	1715	1983	922	363	373	229
$\bar{\sigma}$ A [ks/l]	8566	4602	3166	2026	763	267	354	268	149	183	126
B [ks/l]	104114	61097	43725	23324	7428	1922	2239	1085	452	481	315
$\bar{\sigma}$ B [ks/l]	4989	3177	2288	1465	770	349	583	478	273	336	228
C [ks/l]	92507	53203	37948	19391	5879	1403	1482	604	201	205	130
$\bar{\sigma}$ C [ks/l]	4592	3584	2951	1714	606	177	160	97	42	48	32
Absolutní zvýšení A proti C [ks/l]	3339	1617	743	1116	800	312	501	318	162	168	99
Absolutní zvýšení B proti C [ks/l]	11608	7894	5776	3933	1549	519	757	481	251	276	185
Relativní zvýšení A proti C [-]	1,04	1,03	1,02	1,06	1,14	1,22	1,34	1,53	1,81	1,82	1,76
Relativní zvýšení B proti C [-]	1,13	1,15	1,15	1,20	1,26	1,37	1,51	1,80	2,25	2,35	2,42
Množství odsátých zvířených částic [%]	71	80	87	72	48	40	34	34	35	39	47

4.3 Měření účinnosti filtru

Postup vlastního měření vycházel z teoretických a praktických poznatků popsaných v bakalářské práci pana Janouška M. [34]. Měření účinnosti filtru bylo provedeno za chodu stroje pomocí čítače částic. Sběr dat byl prováděn pouze při chodu stroje a při technologických pauzách (zaseknutí skládání, korekce nožů apod.) byl přerušen. Množství částic bylo měřeno v proudu vzduchu nejprve za filtrem, následně před filtrem a po vyčištění přístroje opět před filtrem a následně za filtrem. Měření na jednotlivých místech probíhala přibližně 10 minut se vzorkovací rychlostí přístroje 1 měření za 6 vteřin. Z naměřených hodnot byla určena účinnost filtru pro jednotlivé intervaly velikosti, pro celkové množství částic a pro hodnoty hmotnosti naměřených částic. Výpočet účinnosti filtru je dán vztahem [35]:

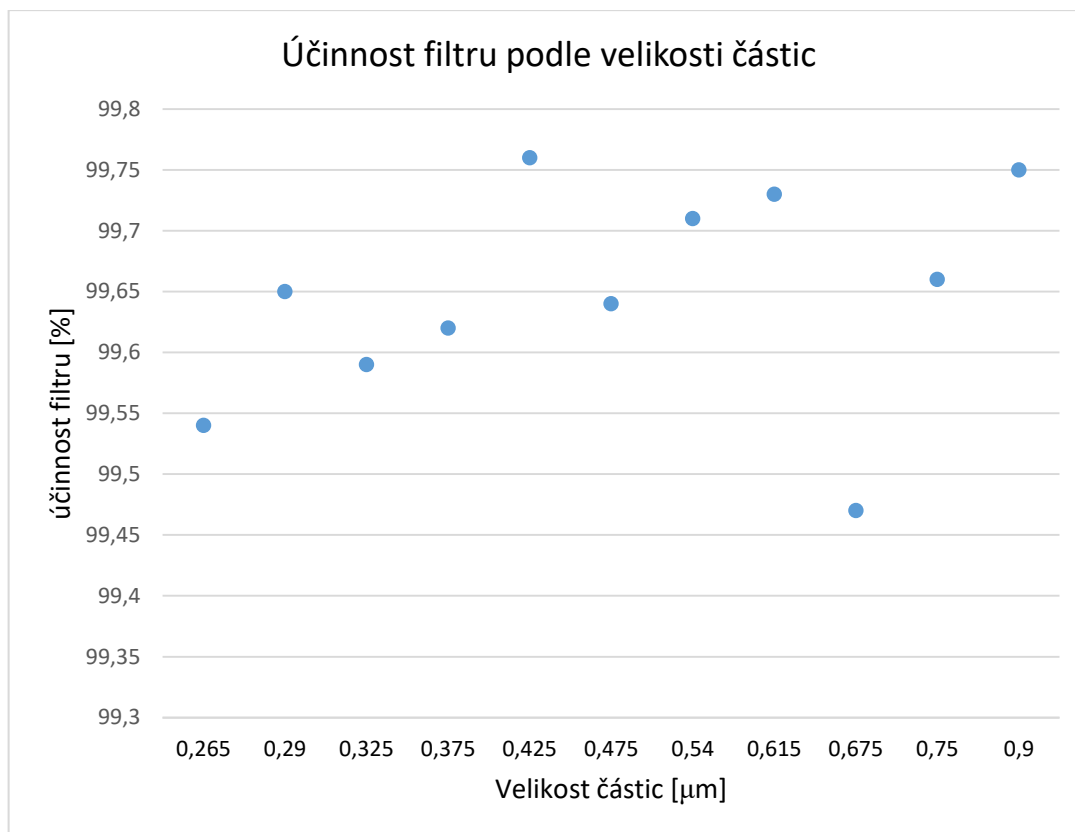
$$n = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \quad (15)$$

Kde S_1 je koncentrace na vstupu do filtru a S_2 je koncentrace na výstupu z filtru. Koncentrace je do vztahu možné dosadit v jednotkách počet částic na objem nebo hmotnost na objem.

V následující tabulce jsou vypsány průměrné hodnoty získaných dat.

Tabulka 9: Měření účinnosti filtru – množství částic

Střední velikost částic [μm]	0,265 [ks/l]	0,290 [ks/l]	0,325 [ks/l]	0,375 [ks/l]	0,425 [ks/l]	0,475 [ks/l]	0,540 [ks/l]	0,615 [ks/l]	0,675 [ks/l]	0,750 [ks/l]	0,900 [ks/l]	Suma [ks/l]
Množ. částic před	38426	23187	20380	15441	9139	3703	5358	3920	1462	1149	464	123280
$\bar{\sigma}$ množ. částic před	4725	3489	3439	3357	2497	1203	1743	1345	547	430	185	21845
Množ. částic za	179	82	84	59	21	13	16	11	8	4	1	478
$\bar{\sigma}$ množ. částic za	111	67	64	55	35	25	29	26	19	13	8	194
Účinnost filtru [%]	99,54	99,65	99,59	99,62	99,76	99,64	99,71	99,73	99,47	99,66	99,75	99,61



Graf 8: Účinnost filtru podle velikosti částic

Účinnost filtru vyšla velice pozitivně (měření probíhalo na konkrétní částice, ne podle normy 1822:2009, proto nelze přesně porovnat, ale odpovídá to třídě E12, která má účinnost 99,5 % [35]). Pro zaměstnance na dílně je z tabulky nejpodstatnější pravý sloupec. Konkrétně řádek množství částic za filtrem. Podle bezpečnostního listu filtračního papíru a vládního nařízení (viz 1.3 Nebezpečnost skelných mikrovláken na str. 14) je dovolený limit 1 vlákno/cm³ (= 1000 vláken/l). Výstup z filtru je v průměrných hodnotách přibližně na polovině tohoto požadavku. Krátkodobě při měření došlo k překročení tohoto limitu (1 hodnota ze 128). Směrodatná odchylka množství částic za filtrem je vůči hodnotám samotným značně vysoká. Je to dáno hlavně tím, že velké množství hodnot ve výběrovém souboru je nulových. Vládní nařízení ještě požaduje dodržení hmotnostní koncentrace 4 mg/m³. Hmotností koncentrace ukazuje následující tabulka:

Tabulka 10: Měření účinnosti filtru – hmotnost částic

Hmotnost částic [μm]	PM1 [μg/m ³]
hmotnost částic před	10,83
$\bar{\sigma}$ hmotnost částic před	2,04
hmotnost částic za	0,03
$\bar{\sigma}$ hmotnost částic za	0,05
Účinnost filtru [%]	99,70

Hmotnostní koncentrace by byla splněna i bez odsávání.

4.4 Měření tlakových poměrů a rychlostí v odsávání

4.4.1 Počáteční tlaková ztráta na filtru

Počáteční tlaková ztráta p_{ZF0} byla měřena diferenčním tlakoměrem po nastavení klapky tak, aby objemový tok filtrem byl cca $800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Tato hodnota byla určena nastavením podtlaku před ventilátorem (za filtrem) na hodnotu 320 Pa, která vyplývá z charakteristiky ventilátoru (**Obrázek 9**). Bylo provedeno 10 měření s následujícími hodnotami:

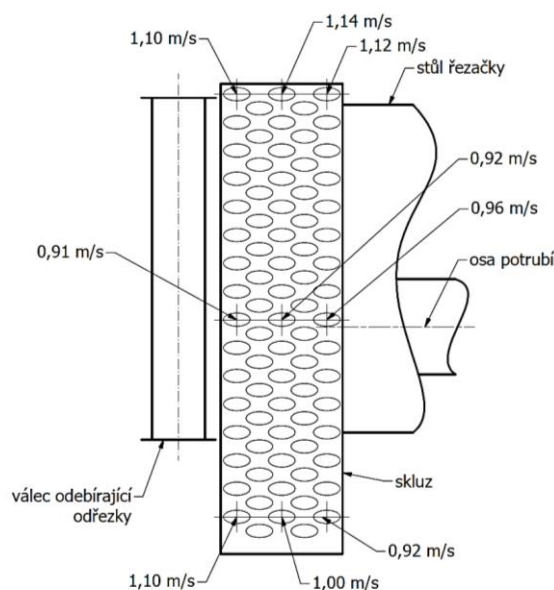
Tabulka 11: Měření počáteční tlakové ztráty filtru

Číslo měření	Tlaková ztráta [Pa]
1	189
2	187
3	189
4	193
5	189
6	191
7	187
8	190
9	193
10	192
Průměr	190
Odchylka	2,2

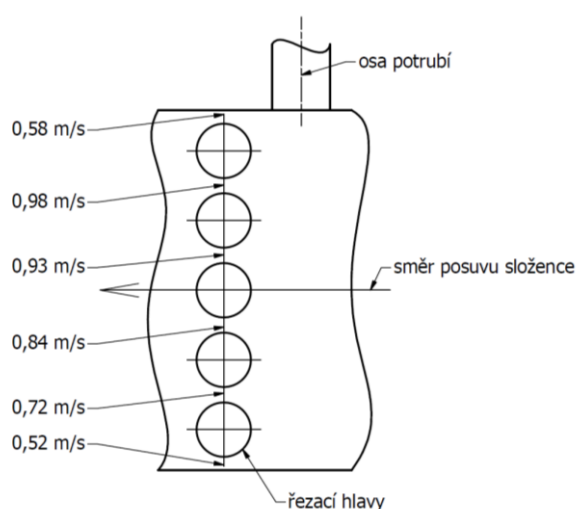
Počáteční tlaková ztráta na filtru vyšla vyšší, než byla předpokládána ve výpočtové části této bakalářské práce. Tím došlo ke snížení tlakové rezervy pro zaplnění filtru, ale nedošlo tímto zvýšením k překročení dopravního tlaku ventilátoru.

4.4.2 Rychlosti na vstupech do potrubí

Pro toto měření byl filtr zastíněn a klapka nastavena tak, aby na filtru při dopravním tlaku ventilátoru 320 Pa vznikla tlaková ztráta na filtru 203 Pa (simulace zaplnění filtru). Tento stav odpovídá podle charakteristiky ventilátoru (**Obrázek 9**) objemovému toku cca $800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Měření rychlosti proudění bylo prováděno na odsávaných místech, kde se očekává uvolnění částic ze složence. Na skluzu se jednalo o měření na 9 místech (střed, středy stran, rohy), aby byla zřejmá nejnižší hodnota rychlosti. Rychlosti horního odsávání byly měřeny mezi řezacími hlavami. Naměřené hodnoty zobrazují následující **Obrázek 26** a **Obrázek 27** (kresleny v půdorysu):



Obrázek 26: Rychlosti odsávání – skluz



Obrázek 27: Rychlosti odsávání – řezací hlavy

Změřené rychlosti na skluzu přesahují navrhovanou rychlost pro odsávání po celé ploše skluzu. U řezacích hlav jsou „hluchá“ místa, kde rychlost klesá pod navrhovanou rychlost. Úniku částic z těchto míst by měly zabránit instalované kryty. Změření rychlostí v samotném potrubí bylo provedeno, ale výsledky nemohou být použity k porovnání. Je to důvodu, že na horním vstupu je proud plynu deformován zatočením potrubí a u dolního vstupu je proud deformován klapkou, tím pádem se v těchto místech nenachází běžný rychlostní profil. U klapky dochází k víření plynu.

Při pozorování při chodu stroje bylo možné pozorovat malé viditelné částice filtračního papíru, jak je proud vzduchu unáší do sacího potrubí. Velké kusy papíru nebyly odsávací rychlostí ovlivněny. Z tohoto pozorování vyplývá, že by částice v řádu mikrometrů skelných mikrovláken také měli být unášeny a zároveň se potrubí nebude zbytečně zanášeno velkými kusy.

5 Závěr

Zkonstruované odsávání odsává průměrně přibližně 50 % vzniklých částic (nejvíce bylo změřeno cca 87 % částic velikosti 0,325 μm , nejmenší účinnost cca 34 % byla změřena u velikosti částic 0,54 μm a 0,615 μm , viz **Graf 7** a **Tabulka 8**). Podle provedených měření je ale velice obtížné porovnat navrhované odsávání s předchozím stavem. Je to z důvodu velkých rozdílů výskytů částic mezi jednotlivými dny. Měřicí přístroj rozpozná jen velikosti částic, nikoliv druh, a proto nelze při měření rozlišit, co jsou „běžné“ částice a co nebezpečné částice vznikající řezáním složenců. Porovnání činnosti a nečinnosti odsávání ukazuje, že odsávání množství částic (částic obecně – v měření nelze rozlišit nebezpečné částice a neškodný „prach“) ve vzduchu snižuje. Za dobré lze považovat skutečnost, že lze pozorovat malé viditelné částice, které jsou proudem vzduchu unášeny do odsávacího potrubí a to jak v prostoru kolem řezacích hlav, tak i v prostoru nad skluzem. Vypovídá to o vhodně zvolené odsávací rychlosti, která zároveň není naddimenzovaná, protože odsávací zařízení nenasává velké kusy filtračního papíru. Tato vhodná volba odsávací rychlosti má dva zásadní důsledky na provoz. Prvním je, že odsávání (ventilátor) nespotřebovává mnoho elektrické energie, a druhým důsledkem je, že se zbytečně neucpává potrubí a filtr.

Odsávací zařízení splňuje požadavky na modularitu a snadnost obsluhy. Odsávání lze od stroje odpojit, a to bez použití náradí. Při použití stejného přípojného mechanismu na jiném zařízení ho lze i libovolně přemístit a zde ho provozovat. Jednotlivé průtoky odsáváním v dílčích větvích lze upravit nastavením řídicí klapky. Výměna filtru je zajištěna bez použití náradí a může ji provést jeden člověk. Modularitu celého návrhu zvyšuje i možnost umístit filtrační box buď na vzpěry stolu (tak jak je nyní navrženo a provedeno), nebo umístění úchytů filtračního boxu korespondující s profily hliníkové stavebnice (která je ve firmě CelanAir často pro zařízení používána).

Použité materiály a polotovary byly standardní komerčně vyráběné produkty, a z toho důvodu i cenově běžné (přijatelné). Kryty nebyly k rámu stroje lepeny, a tím je zajištěna možnost případných úprav či přestaveb, dle požadavků.

Zapojení odsávání do řídicího systému řezačky složenců nebylo provedeno a provede si jej firma ClearAir sama při zásahu do řídicího systému, při kterém se bude zapojovat příčné dělení. Do řídicího systému by mělo být zapojeno sepnutí odsávání a lze zde i umístit čidlo pro kontrolu tlakové ztráty na filtru.

Pro prodloužení životnosti filtru (doba než dosáhne filtr maximální tlakové ztráty) je možné zařízení osadit ventilátorem o vyšším výkonu. Ve stejné řadě jako je použitý ventilátor výrobce ještě jeden ventilátor o vyšším výkonu vyrábí (**Obrázek 9**, ventilátor WK Ø315).

Během měření výskytu částic se ukázalo, že zdroji částic jsou i další pracoviště, která nejsou vybavena odsáváním, a obsluhy mají nařizováno používání dýchacích ochranných pomůcek. Jednalo se o výskyt částic při manipulaci s organickým uhlím a při řezání složenců na pásové pile. Zde bych doporučil zajistit odsávání i těchto míst.

Zhodnocení cílů této bakalářské práce:

1. Provést rešerši stávajícího řešení:

Rešerše stávajícího řešení (odsávání pro ověření konstrukčního principu) byla provedena v úvodu práce. Největším nedostatkem tohoto řešení byl ztížený úklid stroje.

2. Navrhnout novou konstrukci zakrytování a po schválení konstrukci realizovat:

Tento cíl byl splněn – zakrytování bylo navrhuto a po schválení ze strany vedení firmy i realizováno.

3. Provést měření množství částic v okolí pracoviště stroje a efektivitu navržené konstrukce:

Měření částic v okolí pracoviště stroje bylo provedeno a v rámci možností vyhodnoceno. Byla měřena efektivita navrženého filtru. Efektivita odsávání jako celku byla měřena (viz začátek této kapitoly), ale její hodnoty vzhledem k popsáním skutečnostem lze považovat za pouze orientační.

4. Zhodnotit vhodnost navrhovaného řešení:

Navrhované řešení je provedeno tak, aby splňovalo co nejlépe zadané požadavky od vedení firmy a od pracovníků obsluhující stroj.

Citovaná literatura

1. **CleanAir.** *CleanAIR — značka spol. MALINA – Safety s.r.o.* [Online] [Citace: 19. 4 2018.] <https://www.clean-air.cz/CS>.
2. **Hollingsworth and Vose.** *SAFETY DATA SHEET: Filtration media 200008.B14.* 06-June-2014. Version number 01.
3. **THE EUROPEAN PARLIAMENT.** *REGULATION (EC) No 1272/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008.* [Online] [Citace: 19. 4 2018.] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:en:PDF>.
4. **EVROPSKÝ PARLAMENT.** *NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1907/2006.* [Online] [Citace: 19. 4 2018.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20140410&from=EN>.
5. **Vláda České Republiky.** *Nariadení vlády č. 361/2007 Sb.* [Online] [Citace: 19. 4 2018.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>.
6. **Ing. Jiří BESEDA, Lenka PAVROVSKÁ, KS KLIMA – SERVICE a.s.** *Syntetická filtrační média pro výrobu kapsových filtrů.* [Online] [Citace: 23. 4 2018.] http://www.ksklimaservice.cz/?download=novinky/klimatizace_062005.pdf.
7. **ALLUM.** *Asbest a umělá minerální vlákna.* [Online] [Citace: 23. 4 2018.] <http://www.allum.cz/toxicke-latky/asbest-a-umela-mineralni-vlakna>.
8. **GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ.** *Vzduchotechnika.* 2. vyd. Brno : ERA, 2007. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-091-8.
9. **DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL.** *Větrání.* V Praze : České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
10. **BILÍK, M.** *Lokální větrání.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vladimír Krejčí, Ph.D..
11. **CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.** *Větrání a klimatizace.* 3., zcela přeprac. vyd. Brno : BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8..
12. **SZÉKYOVÁ, Marta.** *Větrání a klimatizace.* Bratislava : Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.
13. **Příspěvatelé Wikipedie.** *Pevné částice.* [Online] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [Citace: 23. 4 2018.] https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pevn%C3%A9_%C4%8D%C3%A1stice&oldid=16014735.
14. **ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s.r.o.** *kapitola 7.3 příslušenství - ohebné hadice a tvarovky.* [Online] [Citace: 29. 3 2018.] <http://www.elektrodesign.cz/web/download/31841>.

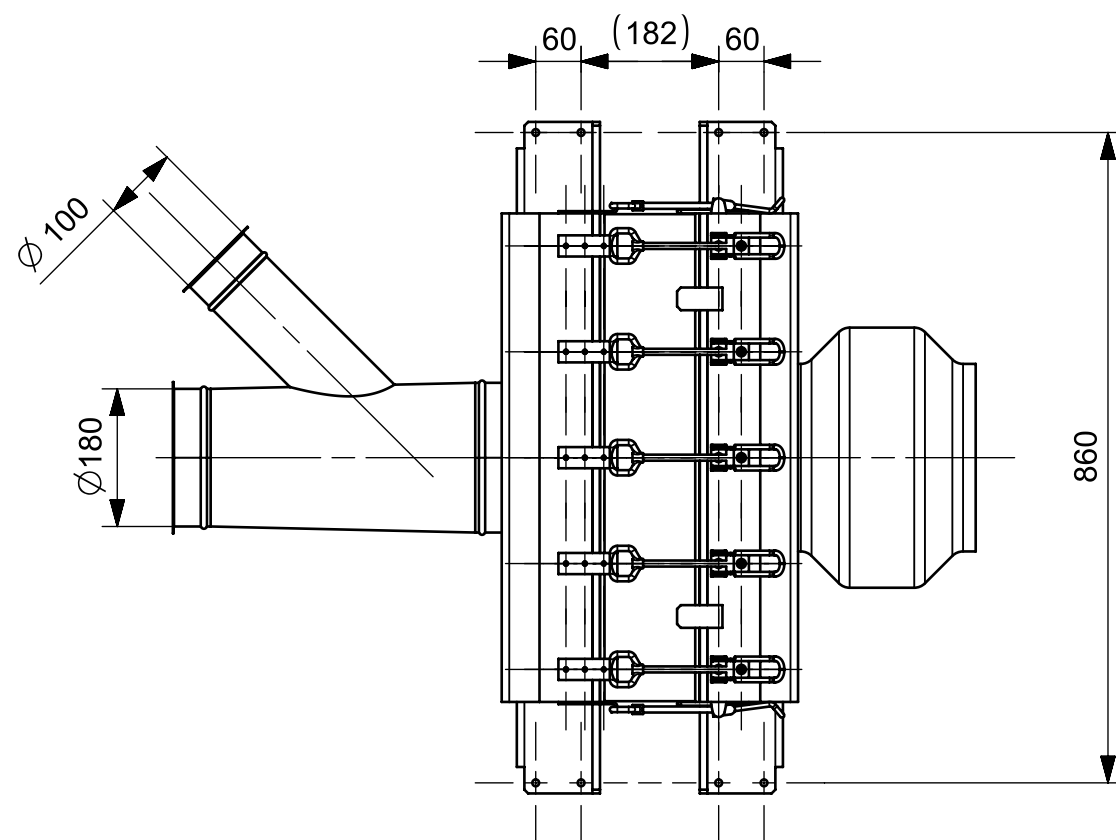
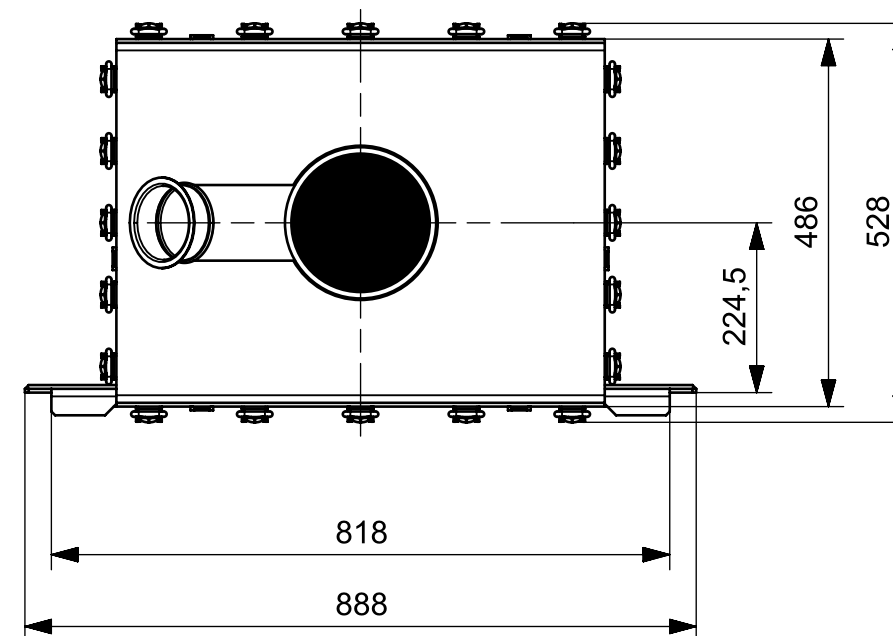
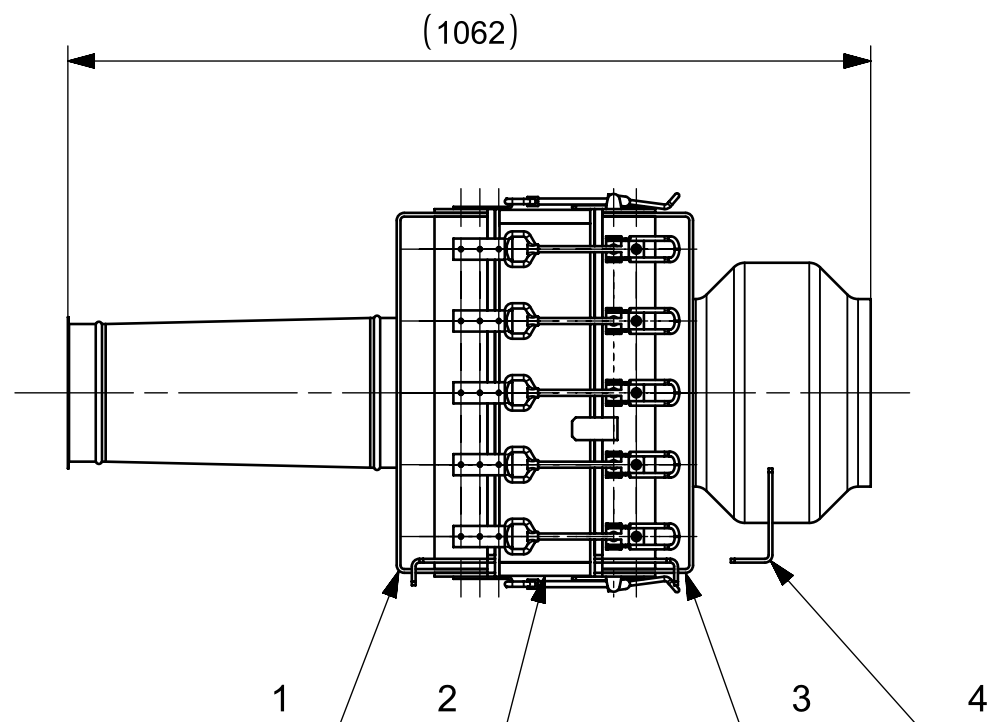
15. **doc. Ing. Václav DVOŘÁK, Ph.D.** *Mechanika tekutin - dynamika plynů, Přednáška 11 - Úvod do proudění stlačitelných tekutin.* [Online] [Citace: 30. 3 2018.] <http://www.kez.tul.cz/cs/stahni-soubor/1522?hash=sdfvhhtmpfvwwbtl1qcz4dw8f2ak99>.
16. **KSB SE & Co. KGaA.** *Centrifugal Pump Lexicon: Head loss.* [Online] [Citace: 16. 4 2018.] <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/head-loss/191314/>.
17. **KS Klima-Service, a.s.** *Rozdělení filtrů do tříd, vlastnosti filtrů a typické příklady použití.* [Online] [Citace: 17. 5 2018.] <http://www.ksklimaservice.cz/cz/rozdeleni-filtru-do-trid-vlastnosti-filtru-a-typicke-priklady-pouziti>.
18. **EKO FILTR spol. s r.o.** *EPA filtr E11, E12.* [Online] [Citace: 17. 5 2018.] <https://www.ekofiltr.cz/produkt/hepa-filtr-e11-e12>.
19. **ŠKORPÍK, Jiří.** *Vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny. Transformační technologie.* [Online] Brno: Jiří Škorpík. [Citace: 9. 4 2018.] <http://www.transformacni-technologie.cz/38.html>. ISSN 1804-8293.
20. **JANALÍK, Jaroslav.** *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje.* Ostrava : VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, 2008.
21. **Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.** *Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) - 2. část.* [Online] [Citace: 10. 4 2018.] <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3769-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-2-cast>.
22. **TOMEX a Novák s.r.o.** *Průmyslové ventilátory WK.* [Online] [Citace: 4. 9 2018.] http://obchod.tomex.cz/index.php?controller=attachment&id_attachment=25.
23. **TRIBON s.r.o.** *PVC-U (polyvinylchlorid neměkčený).* [Online] [Citace: 17. 4 2018.] http://www.georgefischer.cz/produkty/materialy/pvc_u-polyvinylchlorid-nemekceny.
24. **Příspěvatelé Wikipedie.** *Lamino desky.* [Online] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [Citace: 9. 4 2018.] https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lamino_desky&oldid=12138779.
25. **Vláda České Republiky.** *Vyhláška č. 93/2016 Sb.* [Online] [Citace: 30. 5 2018.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93>.
26. **ZVVZ a.s.** *Catalogue sheet: spiro piping, KM 12 0301g.* [Online] [Citace: 4. 4 2018.] <http://www.zvvz.cz/data/files/233km120301g-a.pdf>.
27. **Gidly s.r.o.** *Vzduchotechnické přechodové odbočky.* [Online] [Citace: 4. 4 2018.] <https://www.gidly.cz/vzduchotechnicke-prechodove-odbocky/>.
28. —. *Technický list: ZN_OP_0037.* [Online] [Citace: 17. 4 2018.] https://www.gidly.cz/kal/www/files/item/ZN_OP_0037.pdf.


29. **TITAN-MULTIPLAST s.r.o.** *Plné polykarbnátové desky bez UV stabilizace.* [Online] [Citace: 19. 4 2018.] [https://www.titan-multiplast.cz/storage/titan_CatalogueModule-Download/52-file-File\[cs\]-plny_polykarbonat_bez_UV_stabilizace.pdf](https://www.titan-multiplast.cz/storage/titan_CatalogueModule-Download/52-file-File[cs]-plny_polykarbonat_bez_UV_stabilizace.pdf).
30. **TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.** *Přednáška č. 7 – Analýza experimentálních údajů, testování statistických hypotéz, testy.* [Online] [Citace: 24. 5 2018.] <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1621>.
31. **GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH & Co.** *Návod: Portable Laser Aerosolspectrometer and Dust Monitor Model 1.108/1.109.*
32. **TROTEC.** *Návod: TA300.*
33. **GREISINGER electronic GmbH.** *Návod k obsluze pro diferenční tlakoměr (přetlak / podtlak a diferenční tlak) GDH 200-07.*
34. **Miroslav, JANOŠEK.** *Filtrační materiály pro průmyslovou a vzduchovou filtraci.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 2017. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Vybíral, Ph.D.
35. **Příspěvatelé Wikipedie.** *Vzduchový filtr.* [Online] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [Citace: 24. 5 2018.] https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Vzduchov%C3%BD_filtr&oldid=12565899.
36. **KS Klima-Service a.s.** *Technický list: KS MPS, rámečkové filtry.* [Online] [Citace: 3. 4 2018.] <http://www.ksklimaservice.cz/?download=mps96-techlist.pdf>.

Přílohy

A Výkresová dokumentace

Z důvodu velkého rozsahu je výkresová dokumentace přiložena pouze v elektronické podobě. Na CD složka výkresy. Na následující stránce je pro ukázkou výkres VY-00-00-1 FILTRAČNÍ BOX.



4	PODPĚRA MOTORU		PVC-U		00-04	1
3	VÝSTUP				03-00	1
2	FILTR				02-00	1
1	VSTUP				01-00	1
Pos.	Name - dimension		Material	Norm	Part no.	Quantity
Scale: 1:10	Size: A3	Drawn by: J. Rydlo	Sign: 	Date: 11.06.2018	Change:	
		Approved by:	Sign:	Date:	Replaces drawing no.:	
		Name: FILTRAČNÍ BOX				
		Project: ODSÁVÁNÍ			Drawing no.: VY-00-00-1	Revision: 0
		File path: C:\Users\Josef\Desktop\Pepa\Škola\Vysoká\bakalářská práce\vložení do celku\A@_rezacka_filtru_2\A_odsavani.prt			Part no.: 00-00	
Clean - air s.r.o., Luční 1391/11, 466 01 Jablonec nad Nisou, CZE; tel.:+420 483 356 600, fax: +420 483 356 601; www.clean-air.cz						

B Hodnoty měření výskytu částic

Z důvodu velkého množství hodnot jsou tabulky přiloženy pouze v elektronické podobě. Na CD v souboru excel.

C Fotografie instalovaného odsávání a krytů



Obrázek 28: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců - zleva



Obrázek 29: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců - kolmo



Obrázek 30: Instalované odsávání zapojené k řezačce složenců - zprava